MEMORIE

ED

OSSERVAZIONI

EDITE ED INEDITE

DEL CAVALIERE

Leopoldo Nobili

PROFESSORE DI FISICA ALL' I. E R. MUSEO DI FIRENZE;

Uno de' quaranta della Società Italiana; dell' Istituto di Francia, dell' Accademia Reale di Torino, e della Società Filomatica di Parigi; dell' Accademia di Scienze, Lettere ed Arti di Modena; de' Georgofili e della Colombaria di Firenze; ec. ec. ec.

COLLA

DESCRIZIONE ED ANALISI

DE' SUOI APPARATI ED ISTRUMENTI

VOLUME I.

FIRENZE

DAVID PASSIGLI E SOCJ

1834

Digitized by Google

Eccitato a riunire in un solo corpo le mie memorie sparse in varj giornali e pubblicate per la maggior parte fuori d'Italia, io mi sono tanto più volentieri prestato ad una tale insinuazione, che da qualche tempo nudriva io pure il medesimo pensiere, associato naturalmente all'idea di rivedere, in tale occasione, quegli scritti per fare ad essi quelle aggiunte e rettificazioni che si fossero rese necessarie dopo la prima loro pubblicazione.

La collezione che viene ora alla luce, contiene siffatte aggiunte e rettificazioni, e qualche cosa ancora di più in grazia di certi soggetti che vi sono trattati per la prima volta, e perchè al Volume delle memorie *ne va pure unito un altro che gli serve in certo modo di complemento, contenendo esso* la descrizione ed analisi de' miei apparati ed istrumenti.

Nel I.° volume, le osservazioni inedite sono sparse qua e là, ma più particolarmente nella memoria della pag. 56 *relativa* alle apparenze elettro-chimiche, alle leggi elettro-dinamiche d'Ampère ed al meccanismo interno della pila, *e negli ultimi due numeri intorno* alla distribuzione del magnetismo nell'interno delle calamite, ed alla forza coercitiva.

Il II.° Volume, poi, oltre ai già noti miei apparecchj, ne comprende un buon numero di nuovi, come sono le pile a forza costante, *le altre* per le ricerche calorifiche, *la macchinetta per*

Digitized by Google

l'incrocicchiamento delle correnti, *il* magnetoscopio, *le* calamite conjugate a doppio gioco *col confronto del* grande apparato magneto-elettrico *del sig. Pixii, ec. ec.*

Si chiederà forse come, avendo io pubblicate opere di maggior mole, quest'edizione sia riuscita così ristretta. Risponderò ch'essa è fors'anche troppo voluminosa, e che i lavori in essa non compresi appartengono ad un genere troppo conghietturale, troppo sistematico, dove nulla è da conservare, o quel pochissimo che vi fosse mai, potrebbe, nel caso, meritar posto in un Trattato di Fisica, non già in una Raccolta di questa natura.

Firenze 1.° Febbrajo 1834.

DESCRIZIONE

DI UN NUOVO

GALVANOMETRO

Letta all' Accademia di Scienze di Modena

li 13 Maggio 1825

Il *Galvanometro*, che ho l' onore di presentare all'accademia, non differisce propriamente dall'ordinario, che in una parte sola: laddove quest' ultimo ha un solo ago magnetico liberamente sospeso in mezzo al telajo che porta i giri del *Moltiplicatore* di Schweigger, il mio ne ha due, *s n, n' s'* disposti come indica la figura 1. Tav. I. Questi due aghi sono paralleli, eguali in lunghezza e grossezza, calamitati in senso inverso, e portati da una paglia *p p'* ch'essi traversano perpendicolarmente nel mezzo. La distanza degli aghi, e la sospensione della paglia si regolano per modo che gli aghi possano girare liberamente, l' uno al solito dentro al telajo del moltiplicatore, l'altro al disopra. Per disporli in tal modo bisogna naturalmente aprire un passaggio attraverso i giri superiori del moltiplicatore. Questo si ottiene col dividere prima la serie di quei giri in due parti eguali, e poi collo stringere ciascuna di queste parti contro le sponde del telajo in guisa che rimanga libero nel mezzo uno spazio romboidale largo quanto basta per introdurvi l'ago inferiore *n' s'*. Si pratica poi una simile apertura nel circolo graduato, destinato a misurare l' effetto delle correnti elettriche; perchè una tale divisione è, nel mio galvanometro, situata immediatamente al di sopra dei giri del telajo. Così dei due aghi *s n, n' s'* il solo superiore serve d' indice, l'altro non si vede che guardato di fianco. Crederei che convenisse di dare a questa disposizione il nome di *galvanometro a due aghi* per distinguerla così dall' ordinaria, la quale ne ha un solo (1).

(1) Le dimensioni ch'io soglio dare alle diverse parti, sono le seguenti. V. fig. 2.

Telajo AB	lunghezza *qt* = 22.lin.	Aghi magnetici	distanza fra loro = 5.lin.
	larghezza *xy* = 12.l.		lunghezza = 19.l.
	altezza *gh* = 6.l.		diametro = 1/4. di linea.

Il filo del moltiplicatore è di rame ricotto. La sua grossezza di 1/5 di linea, la lunghezza di 29 in 30 piedi. Questo filo coperto al solito di seta, fa settantadue

Nobili 1

Per dare un' idea della sensibilità di questo nuovo galvanometro basterà ch' io faccia vedere com' esso si comporta sotto l' azione delle correnti termo-elettriche del Dott. Seebeck. Si sa che la combinazione più efficace per lo sviluppo di tali correnti si è quella del bismuto e dell' antimonio. Si sa inoltre che questi due metalli raffreddati col ghiaccio in una delle loro giunture non danno che de' segni debolissimi della loro azione sopra i galvanometri di Schweigger, come già osservarono i sigg. Oersted e Fourier nella serie delle loro esperienze termo-elettriche. Io non cito questo risultato coll' idea di cominciare il confronto dall' esperimento dei due metalli or ora indicati: lo cito unicamente per far riflettere che il bismuto e l' antimonio raffreddati da una parte col ghiaccio sono già così efficaci sul mio galvanometro, che si rischia di far fare con essi varie rivoluzioni all' indice dell' istrumento. Sceglieremo piuttosto una combinazione di molto minore effetto: prenderemo, per esempio, un sottil filo di ferro lungo cinque o sei pollici, e dopo d' averlo unito con alcuni ravvolgimenti alle estremità del filo di rame del moltiplicatore, ci limiteremo a riscaldare una delle due congiunzioni col semplice calore della pressione delle dita. Si vedrà l' indice partire dalla sua posizione d' equilibrio, segnata o.° sul circolo graduato, e portarsi nella sua prima oscillazione al di là dei 90.° È già straordinario questo movimento; ma forse di prima giunta reca maggior maraviglia l' effetto che si osserva quando l' esperimentatore si contenta d' avvicinare la mano ad una delle due congiunzioni. Basta questo solo avvicinamento a produrre nell' indice una deviazione di 20.° e più.

Questa grande sensibilità dipende tutta dall' aggiunta dell' ago superiore, il quale serve, col suo magnetismo inverso a un doppio fine; rende cioè poco meno che nulla l' influenza del magnetismo terrestre, mentre si unisce all' ago inferiore per girare con questo dalla medesima parte sotto l' azione delle correnti che passano pei giri successivi del moltiplicatore.

Avevano già i fisici riconosciuto che si poteva rendere più delicato il galvanometro di Schweigger col porre al disotto dell' apparecchio un piccolo ago magnetico nella situazione necessaria a diminuire la forza, colla quale l' ago dell' istrumento tende a mantenersi nel meridiano magnetico. Questo artifizio è ben lontano dal procurare al galvanometro quel grado di sensibilità ch' esso acquista nel modo ch' io ho impiegato. I fisici si persuaderanno facilmente di quest' asserzione col confrontare i due metodi in tutte le circostanze. Io non deggio che insistere sopra di

giri d' intorno al telajo coprendo tutta la larghezza *xy*. Questo spazio non contiene che 36 giri: i 72 formano due ordini, l' uno sopra dell' altro. L' apertura *ru*, da praticarsi nel mezzo dei giri superiori, si fa di 3. linee.

Costituisco i telaj con lastra e filo d' ottone, piuttosto che di legno, per averli al tempo stesso e più solidi, e meno grossolani nelle loro dimensioni.

una sola avvertenza, ed è di usare ogni cura per avere i due aghi della macchinetta calamitati il più che si può a grado eguale. Quanto questa condizione è più rigorosamente soddisfatta, tanto l'istrumento si mostra più delicato. Io m'accorgo a due contrassegni quando gli aghi riescono calamitati a dovere. Ho il primo indizio nella posizione, in cui si fissa il piano dei due aghi: tale situazione non debbe già, come nel galvanometro ordinario, esser quella del meridiano magnetico, ma un'altra più o meno inclinata a quest'ultimo piano. L'inclinazione di cui si tratta, risulta da quel piccolo residuo di magnetismo terrestre che non si arriva ad elidere cogli aghi i meglio accoppiati. L'altro contrassegno mi si presenta nel modo con cui il sistema dei due aghi oscilla d'intorno alla linea del suo equilibrio. Queste oscillazioni deggiono esser lentissime in confronto di quelle che si fanno da un ago obbligato dal magnetismo terrestre a mantenersi nella direzione del meridiano magnetico. Non è che dopo diversi tentativi che si riesce a ritrovare una buona combinazione Quella che l'Accademia ha sott'occhio, è la più felice che mi sia riuscita finora. La lentezza con cui oscilla l'indice di questo mio galvanometro, è una circostanza che non isfuggirà per certo all'occhio penetrante de' miei illustri colleghi.

Il galvanometro ordinario va voltato per modo che la divisione o.° del circolo graduato cada nel meridiano magnetico, dove si fissa stabilmente l'ago dell'istrumento. Ho già avvertito che gli aghi del mio galvanometro si equilibrano in un altro piano. Questa differenza non varia per nulla l'uso dell'istrumento: basta unicamente girare l'apparecchio sino al punto che conviene all'equilibrio dei due aghi. Egli è nel piano di questi due aghi che dee condursi quella stessa divisione o.° che si fa nel galvanometro ordinario coincidere col piano del meridiano magnetico.

Ho già notato sin da principio il luogo dove bisogna collocare il circolo graduato. Nei galvanometri a un solo ago la divisione è fissata dentro il telajo del moltiplicatore al disotto dell'ago magnetico. Trasportandola, come permette l'aggiunta del secondo ago, al disopra del telajo, si ottengono due vantaggi; l'uno che la divisione è tutta scoperta all'occhio dell'osservatore; l'altro che si può tener molto basso il telajo del moltiplicatore. Già si vede che quanto è meno alta questa specie di gabbia, tanto maggiore risulta l'effetto dei giri del moltiplicatore sull'ago interno: vantaggio a cui bisogna rinunciare fino a un certo segno nel galvanometro ordinario, onde non coprire di troppo la divisione.

Oltre ai servigi che il galvanometro a due aghi può prestare nelle ricerche di elettricità molto delicate, parmi che la sua sensibilità lo renda proprio ad un altro uffizio del tutto diffe-

rente da quello per cui ha finora servito. Si sa che l'acqua si mantiene comunemente al disotto della temperatura dell'aria che la circonda. Questa differenza ascende circa a due gradi, ed è, come tutti sanno, prodotta dalla continua evaporazione del liquido. Attaccai, per prima prova, una bacchetta di bismuto ai capi del filo di rame d'uno de' miei moltiplicatori, e poi tuffai una delle congiunzioni in una tazza piena d'acqua. Vidi subito l'ago deviare di parecchi gradi: prova non dubbia che l'istrumento è tale da misurare il piccolo raffreddamento cagionato dall'evaporazione. Sono ormai più di quindici giorni ch'io tengo in azione in tal modo uno de' miei galvanometri. La sera e la mattina trovo che l'ago devia 15.° all'incirca; durante il corso della giornata si spinge talvolta al di là dei 21.° Sospetterei dunque da questo primo saggio che il galvanometro potesse divenire nelle mani di qualche attento e paziente fisico una specie d'*atmidometro*. Se poi con una sola coppia di due metalli differenti, il bismuto e il rame, l'ago si spinge oltre 15°, con parecchie coppie immerse convenevolmente nell'acqua dello stesso vaso, si otterranno delle deviazioni molto maggiori; e così si riuscirà forse, misurando sopra una scala più estesa, a tener dietro più esattamente alla marcia diurna dell'evaporazione. Noterò anche in quest'occasione ciò che nasce all'atto in cui si eccita del vento, con un mezzo qualunque, sull'acqua dell'esperimento. Senza dubbio un tal vento accelera l'evaporazione, e questa accelerazione fa sì che cresca la differenza di temperatura fra l'acqua del vaso e l'aria esterna. Il galvanometro dà subito indizio di quest'aumento, che è in così immediato rapporto colla causa che lo produce, l'evaporazione. Ad onta di ciò non è già da credere che io intenda di dare a questo pensiero una grande importanza: intendo unicamente d'accennare un mezzo che potrà forse col tempo arricchire la meteorologia d'un nuovo istrumento.

NOTA

Nel dare la descrizione del mio galvanometro notai una particolarità, la quale merita, da un lato, uno schiarimento, e dall'altro una rettificazione. Supplirò in pochi cenni a questo doppio fine, destinando il resto della presente nota a qualche altra riflessione.

I due aghi da impiegarsi nel mio istrumento dovrebbero essere calamitati allo stesso grado, e trovarsi precisamente coi loro assi magnetici nello stesso piano. Ma è molto difficile per non dire impossibile di soddisfare pienamente a queste due condizioni. Uno degli aghi ha sempre un poco più, od un poco meno di magnetismo che l'altro; e gli assi magnetici non coincidono mai esattamente nello stesso piano. L'ago più fortemente calamitato

tende a mantener l'altro nel meridiano magnetico; la divergenza degli assi tende invece a trasportare il sistema fuori di quel piano. In virtù di tali due tendenze gli aghi si fermano in un piano, il quale devia tanto più dal meridiano magnetico, quanto la forza che lo chiama a questa direzione, riesce, *caeteris paribus*, minore dell'altra che tende a strascinarlo fuori. Ecco dunque come il fissarsi degli aghi fuori del meridiano magnetico diventi all'atto pratico un indizio che gli aghi differiscono poco nell'energia del loro magnetismo: lo diventa in quanto che una grande differenza maschera per modo l'altro difetto, che, se il piano degli aghi non si confonde esattamente con quello del meridiano magnetico, se ne allontana così poco da rendere palese l'eccesso della forza che agisce in quella combinazione. Bisogna del resto convenire che la divergenza degli assi magnetici, è anch'esso un difetto che pregiudica alla delicatezza dell'istromento, e che però merita, come l'altro, d'essere minorato il più che si può.

Gli aghi del mio galvanometro sono lunghi una ventina di linee. Il circolo graduato che risponde a questa lunghezza è troppo piccolo per permettere divisioni d'una certa minutezza. Io desiderava di rimediare a questo difetto senza cadere negli altri, a cui si va incontro aumentando le proporzioni degli aghi e del moltiplicatore. Pensai quindi d'aggiungere una paglia finissima ad una delle due punte dell'ago che serve da indice onde prolungarlo in guisa da poter servire per una divisione molto maggiore. Misi ad esecuzione questo pensiero, e per certo senza sospettare che un'aggiunta così lieve avesse da recare alcun notabile pregiudizio alla delicatezza dell'istrumento, ma il fatto non tardò guari a convincermi del contrario. Esso mi mostrò che quell'appendice, così poco valutabile in apparenza, toglieva realmente ai due aghi la metà circa della loro sensibilità.

In generale gli stromenti molto delicati non servono bene che nello studio delle piccole forze. Il galvanometro forma per altro eccezione atteso che la sua sensibilità si può ridurre a quel segno che più aggrada. Basta per questo fare agire una piccola calamita sopra i due aghi dello stromento, da lontano o da vicino secondo che vuolsi diminuita di poco o di molto la loro mobilità. Si può anche, negli esperimenti di misura, aggiungere una paglia all'ago superiore onde profittare del vantaggio d'un indice più lungo. Converrà per questo motivo applicare al moltiplicatore due divisioni concentriche, l'una più grande per l'indice allungato, l'altra più piccola per l'indice ordinario.

Il sig. Dott. Gherardi, in un suo scritto pubblicato nel Bullettino scentifico di Bologna, propone alcune modificazioni al mio galvanometro colla fiducia di renderlo più sensibile. Egli vorrebbe in sostanza che si raddoppiasse il mio sistema, vale a dire che s'impiegassero due moltiplicatori e quattro aghi magnetici. I

moltiplicatori sarebbero collocati l'uno al disopra dell'altro, mentre i quattro aghi verrebbero portati da una stessa paglia la quale traverserebbe i telaj, e lascerebbe allo scoperto i due aghi estremi, l'uno al di sopra del telajo superiore, l'altro al di sotto del telajo inferiore. Già s'intende che i giri del filo intorno ai due telaj dovrebbero essere condotti in modo da agire nello stesso senso sopra i quattro aghi inversamente calamitati. Venne anche a me l'idea di queste due coppie; ma l'abbandonai appena concepita, perchè m'avvidi che conveniva assai meglio raddoppiare il filo all'unico telajo del mio moltiplicatore di quel che duplicare tutto il rimanente. Si ottiene così dallo stesso impiego di filo un doppio effetto, giacchè nel caso di cui parlo, non si ha da movere che una sola coppia d'aghi, mentre nell'altro ve ne ha due.

Lo stesso sig. Dottore propone un'altra modificazione, ed è di levare dal galvanometro a quattro aghi i due estremi affine di lasciar sussistere i soli due di mezzo coperti ciascuno del proprio moltiplicatore. Questa soppressione è senza dubbio vantaggiosa; ciò nullameno il sistema così ridotto è tuttavia privo d'uno de' vantaggi che vanno uniti all'uso d'un solo telajo guernito di tutto quel filo che s'impiegherebbe sopra due. Il vantaggio che gli manca, è di non avere alcuno dei due aghi in situazione di servire da indice, trovandosi amendue rinchiusi dentro i telaj, che li coprono alla vista dell'osservatore. L'inconveniente non è a dir vero sfuggito alla penetrazione del sig. Gherardi, il quale corre al riparo col suggerire il ripiego d'aggiungere in luogo scoperto un indice leggerissimo fatto di materia non magnetica. Avvertii poc'anzi le conseguenze d'un'aggiunta dello stesso genere: qui non mi resta altro che da ripetere che non s'aggiunge peso per lieve che sia senza nuocere notabilmente alla bontà dell'istrumento.

Veggio del resto con piacere che altri pensi al modo di perfezionare sempre più il galvanometro. Vorrei pure per il vantaggio della scienza che gli sforzi di qualcuno venissero coronati da felice successo; ma il voto è accompagnato dal timore che resti poco da profittare dell'uso degl'artifizj ordinarj.

ESPERIENZE

ELETTRO—FISIOLOGICHE

È sentimento di parecchi fisiologi, che le funzioni della vita dipendano da quella combinazione di forze che agiscono negli elettro-motori. Questa opinione conta a suo favore non pochi nomi illustri: Ritter, Humbold, Berzelius, Davy, Prokaska, Rail, Rolando ecc. ecc. sono di un tal numero. Fra gli argomenti per altro che si adducono da coloro i quali veggono una forte analogia fra i fenomeni della vita e quelli della pila, niuno ve ne ha, per quanto io sappia, che molto ci illumini sul luogo dove converrebbe fissare la posizione delle pile necessarie all' esercizio delle funzioni vitali. Ciò nulla meno tale è la questione che può essere oggi giorno, se non in tutto, in parte almeno, sottoposta all' esperimento. Non vi ha infatti corrente elettrica per poco attiva ed estesa che sia, di cui non si possa riconoscere l' esistenza indipendentemente dal sapere d'onde parta, e come si determini. Una tale ricerca esige un solo strumento, il galvanometro, l' uffizio del quale, nel caso speciale di cui si ragiona, è semplicissimo. Supponiamo per esempio che si voglia esplorare se nel sangue delle vene esiste una corrente elettrica, determinata comunque. Non si avrà in questo caso che a porre il sangue nel circuito del galvanometro, coll' aprire in prima la vena in due luoghi, e poscia coll' introdurre nelle due aperture le estremità di quello strumento (1). Se dopo di avere in tal guisa posto il sangue in comunicazione col filo del galvanometro, l' indice di questo misuratore devierà dalla linea del suo equilibrio, l' osservatore sarà certo che esiste nel sangue una corrente elettrica più o meno forte secondo i gradi di deviazione che avrà subito l' indice. Se invece quest' indice rimarrà fermo al suo posto, l' osservatore conchiuderà o che non vi ha corrente elettrica nel vaso esplorato, o se vi è, che essa è così debole da sfuggire alla delicatezza del suo istrumento.

Basta questo solo esempio per ispiegare il modo con cui si può nello stato attuale delle scienze fisiche, affrontare il problema dei supposti elettro-motori fisiologici. Gli esperimenti che stiamo per descrivere non sono che una continua ripetizione dello stesso metodo applicato alle diverse parti dell' organismo animale. Il sistema nervoso comparirà per il primo nella serie dei no-

(1) Questo metodo d' esplorare le correnti elettriche si trova riferito dal Sig. De la Rive nella sua bella memoria, letta alla società di Ginevra li 20 Gennajo 1825 (*Annales de Chimie et Physique* Tom. XVIII. fevrier pag. 203). Io aveva più volte praticato un tal metodo prima di conoscere il lavoro del fisico ginevrino; ma poichè egli mi ha prevenuto in faccia del pubblico, è giusto che io gli ceda ogni dritto d' anteriorità.

stri tentativi: gli abbiamo data la preferenza per due motivi: 1.° perchè la presenza d'un fluido sottile attivissimo sembra quivi indispensabile più che altrove; 2.° perchè il fluido delle correnti elettriche è per appunto così veloce nella sua marcia, come sembra convenire alla rapidità con cui i nervi eseguiscono le misteriose loro funzioni. Fra le parti poi del sistema nervoso, la prima ad essere esplorata si presentava, per così dire, da se nella midolla spinale, a cui fan capo, come a tronco centrale, le due specie di nervi destinate al senso ed al movimento. Se le correnti elettriche, io dissi, scorrono pei nervi, in nessun luogo esse si manifesteranno meglio, che là dove si riuniscono in uno o più filoni principali.

Le estremità del galvanometro sogliono per l'ordinario essere guernite di due fili di platino. Oltre a questi due fili ho creduto bene, di servirmi, all'uopo, d'un altro mezzo di comunicazione più ampio. Preparai per questo de'piccoli cuscinetti di pelle riempiuti al di dentro di cotone, ed infilzati da una parte in un grosso filo d'ottone, che loro serviva di manico. Coprii alcuni di que'cuscinetti con foglia d'oro, ed altri con una laminetta di questo stesso metallo; prevedendo che se i primi si sarebbero per la loro mollezza, adattati meglio alle parti da scandagliare, i secondi si sarebbero invece conservati di più, perchè non soggetti, come quelli a foglie d'oro, all'inconveniente di perdere facilmente la loro veste metallica. Ad ogni modo sì l'una come l'altra specie di cuscinetti merita quasi sempre di esser preferita all'uso dei fili di platino, in grazia del contatto più esteso che esse procurano fra gli organi da scandagliarsi e le estremità del galvanometro. L'impiego dei cuscinetti esige una sola avvertenza, ed è che non bisogna adoperarli prima di avere isolato una parte del manico d'ottone a cui sono attaccati. Un tale isolamento, eseguito al solito con uno strato di sostanza resinosa, debbe giungere fino alla foglia, o lamina d'oro, onde garantire l'esperimento dallo sviluppo di correnti estranee a quelle che si cercano sulle diverse parti dell'organismo animale.

Dodici furono gli animali che vennero sacrificati alle nostre ricerche. Io non riferirò per altro che gli esperimenti eseguiti sopra otto di quelle vittime, perchè le altre quattro offrirono dei resultati equivoci per non avere sul principio usata attenzione sufficiente nell'isolare il manico de'cuscinetti.

I.° ESPERIMENTO

Sopra un grosso e robusto Coniglio. Si cominciò dal legare strettamente l'animale, colla pancia all'ingiù, sopra un travaglio costruito espressamente a questo fine. Si mise in seguito a scoperto la midolla spinale in due luoghi, nella regione cioè delle vertebre dorsali, e nell'altra delle vertebre lombari. Lava-

te ed asciugate le piaghe si osservò che la midolla era intatta nelle due parti scoperte, e tuttavia rivestita delle sue membrane. Si collocarono più volte i cuscinetti metallici del galvanometro, 1.° sugli involucri della midolla, e 2.° sulla sostanza propria della midolla dopo d'averne tagliati gl'integumenti. Il galvanometro non diede alcun segno di movimento in veruno di quei contatti. Sostituite ai cuscinetti metallici le punte di platino s' introdussero queste dentro la sostanza della midolla, scandagliando per tutti i versi e spingendo i fili lungo la direzione di quell' organo per il tratto di sei ad otto linee. Il galvanometro rimase sempre stazionario in tutte queste esplorazioni.

Due incisori, operando sollecitamente, impiegano otto minuti circa a preparare l'esperimento. L'animale non solamente resiste a così dolorosa operazione, ma ne tollera pur anche qualche altra di cui parleremo in appresso.

Lo scandaglio della midolla spinale, considerato come il più importante di tutti, fu replicato sopra due altri Conigli, senza ottenere alcuna variazione ne'resultati.

II.° ESPERIMENTO

Sopra un coniglio più vecchio e robusto dei tre primi. Fu destinato all'esplorazione dei vasi sanguigni. Si fissò per tal motivo sul travaglio colla pancia all'insù. Si scoperse quindi la vena ed arteria esteriore d'una coscia. Si avrebbe potuto esplorare il sangue di questi vasi, come si disse sin da principio, vale a dire pungendo prima il vaso in due luoghi e poscia introducendo nelle due aperture le estremità del galvanometro. Ma si poteva ancora sopprimere quest'ultima operazione coll'attaccare a dirittura all'estremità del galvanometro i ferri che si destinavano a pungere i vasi sanguigni. Si scelse quest'ultimo partito perchè più sollecito e meno imbarazzante. I ferri poi da pungere i vasi potevano essere o lancette, od aghi anatomici. Si preferirono gli aghi in grazia della loro forma e lunghezza che ci permetteva di maneggiarli meglio. Con questi aghi si cominciò ad esplorare il sangue della vena crurale. Il galvanometro non si mosse nè all'atto delle punture, nè per tutto il tempo che si tennero immersi nel sangue gli aghi anatomici.

Si legò in seguito la vena, e si ripulirono dal sangue gli aghi delle punture onde servirsene nuovamente per pungere in due luoghi l'arteria vicina. Sotto quest'ultima operazione il galvanometro si mantenne stanzionario come prima.

Le due esplorazioni furono eseguite con molta precisione La vena e l'arteria erano benissimo scoperte per il tratto di dodici a quattordici linee. Le punture vennero eseguite presso alle estremità di quest'intervallo; e si ebbe cura che riuscissero contemporanee per evitare possibilmente ogni anomalia. Gli aghi furo-

no poi tenuti da 20 in 30 secondi dentro i vasi sanguigni. Durante questo tempo il sangue usciva così vivamente dalle punture che non poteva nascer alcun dubbio sulla comunicazione stabilita fra il corso del sangue e le estremità del galvanometro.

L'esperimento dei due vasi, venoso ed arterioso, non fu eseguito da prima che sopra d'una sola coscia. Fu replicato in seguito sopra amendue le coscie d'un altro coniglio. Si usarono le stesse attenzioni, e si ebbero i medesimi resultati. I due animali morirono svenati.

III.° ESPERIMENTO

Nello scoprire la vena ed arteria crurale si ebbe campo da esplorare più volte il nervo ischiatico sia col toccarlo, sia col perforarlo in due punti co' fili del galvanometro. Quest'istrumento non diede mai indizio di movimento. Accadde lo stesso quando si esplorarono i muscoli circonvicini.

IV.° ESPERIMENTO

Sopra una Gallina. Col mezzo degli opportuni istrumenti si misero allo scoperto il cervello ed il cervelletto dell'animale. La piccolezza dei due organi non permise di scandagliargli col mezzo dei cuscinetti metallici, che si sarebbero toccati nell'applicarsi alle varie regioni di que' due sistemi. Si esplorarono per conseguenza coi fili di platino, sia toccando da prima i due emisferi del cervello, sia passando in seguito a toccare ciascuno degli emisferi ed il cervelletto. Il galvanometro restò sempre immobile. Non contenti dei primi scandagli eseguiti alla superfice del cervello e del cervelletto, s'introdussero i fili di platino dentro la sostanza di que' due sistemi dirigendoli ora da una parte ed ora dall'altra. La gallina non morì per questo; ma il galvanometro si conservò sempre stazionario.

V.° ESPERIMENTO

Sopra un piccolo coniglio. Fissata al solito la bestiuola sul travaglio, uno degli incisori mise a scoperto il cervello di quella, mentre un altro scopriva la midolla spinale nella regione delle vertebre dorsali. Il contatto dei cuscinetti metallici con questa parte di midolla e gli emisferi del cervello non produsse alcun movimento del galvanometro. Scoperto in seguito il cervelletto, si replicarono i contatti fra quest'organo e la midolla, senza dimenticare di scandagliare fra loro i due organi del cervello e del cervelletto. S'introdusse alla fine uno dei fili di platino lungo la midolla spinale, e l'altro dentro la sostanza del cervello dirigendolo verso la midolla oblungata. Il galvanometro

Digitized by Google

restò sempre immobile. Si abbandonò l'animale con un resto di vita.

VI.° ESPERIMENTO

Uno dei conigli che aveva servito all'esplorazione dei vasi sanguigni, fu destinato alla sezione del basso ventre e del torace. Scoperti gl'intestini si scandagliò, in tutti i modi possibili, il fegato, il cuore ed il polmone. Tutti questi scandagli, accompagnati sempre da risultati negativi al galvanometro, furono eseguiti sull'animale ancor vivo, e coi cuscinetti metallici. Subito dopo si punse la vena cava, coi soliti aghi, in due luoghi distanti 18. linee circa: si punse anche l'aorta in altri due luoghi ma un poco più vicini. Il sangue che era tuttavia in circolazione, gnizzava dalle punture, ma il galvanometro non si mosse mai.

Mentre durava negli intestini il movimento vermicolare si posero i cuscinetti metallici sopra diversi di loro, e specialmente sopra il *colon* trasverso e l'intestino retto. Niun movimento al galvanometro. S'abbandonò l'animale che non erano spente del tutto le palpitazioni al cuore.

VII.° ED ULTIMO ESPERIMENTO

Sopra una pecora vigorosissima di tre anni. Fu destinata alla maggior parte delle operazioni sin quì descritte. Eccone l'epilogo per norma di coloro che le volessero ripetere.

Vasi sanguigni.

Coscia destra. Scoprimento della vena ed arteria esteriore. Puntura della vena in due luoghi distanti più d'un pollice; niun movimento al galvanometro. Legata la vena e punta l'arteria, si ebbe un leggerissimo movimento, ma equivoco. In seguito di questa incertezza si legò l'arteria, e si passò immediatamente a scoprire l'arteria dell'altra coscia. Puntura di questo vaso in due luoghi distanti poco meno di due pollici. Nuovo movimento al galvanometro, leggiero sì ma più deciso della prima volta. In amendue i casi il sangue era uscito in tal copia dalle arterie, che gli aghi vi pescavano dentro per buon tratto della loro lunghezza. Si dubitò subito che il galvanometro si fosse mosso in grazia del sangue diversamente rappreso intorno agli aghi anatomici. Per assicurarsi di questo si tuffarono immediatamente i due aghi (così coperti di sangue come si trovavano all'atto dell'esperimento) dentro un vaso pieno d'acqua. Al momento dell'immersione si rinnovarono nel galvanometro gli stessi indizj di movimento; prova sicura che la corrente elettrica manifestatasi negli ultimi due scandagli era dovuta ad eterogeneità di parti, e non già ad un

corso d' elettricità preesistente nel sangue dei due vasi esplorati.

Destinando l'animale ad altre operazioni non si perdette tempo nel legare la seconda arteria.

Sistema nervoso.

Tre trapanature al cranio che misero allo scoperto il cervelletto, ed i due emisferi del cervello. Nello stesso tempo una sezione alle vertebre dorsali, la quale scoprì dieci a dodici linee di midolla spinale. Contatto dei cuscinetti metallici fra questa midolla e gli organi del cervello e del cervelletto. Introduzione dei fili di platino dentro la sostanza del cervelletto, e della midolla spinale. Il galvanometro sempre immobile.

L' animale era ancor vivo; si pensò di approfittarne per ripetere sull' aorta lo scandaglio dei vasi sanguigni. Si fece perciò rapidamente la sezione del basso ventre, e distratti a destra gl' intestini si punse l'aorta in due luoghi cogli aghi anatomici attaccati al solito alle estremità del galvanometro. L'indice di questo strumento deviò di sei gradi. Fatta la compressione sulle prime punture ed introdotti di nuovo gli aghi, si osservò per la seconda volta un movimento nel galvanometro, ma in senso contrario al primo. Immersi subito gli aghi coperti di sangue nell' acqua pura si videro nel galvanometro gli stessi indizj di movimento. Fu questa un' anomalia dello stesso genere di quella riferita poc' anzi.

Si abbandonò la pecora che era ancor viva: non morì che un quarto d'ora dopo.

Conclusione

Il *galvanometro* di cui mi sono servito nel corso di questi esperimenti, è quello stesso che io presentai all'Accademia delle scienze di Modena li 13 Maggio di quest'anno. Per fissare con qualche precisione il grado di confidenza che meritano i risultati costantemente negativi ottenuti sopra tutte le parti che si sono esplorate, io deggio prima d' ogni altra cosa stabilire in qual modo si comporta l'istrumento applicato ad una corrente di una forza determinata. S' immagini un triangolo equilatero di due in tre pollici di lato, composto in guisa da avere per suoi lati: 1.° un filo di rame grosso appena un terzo di linea; 2.° un filo di zinco egualmente grosso del primo; 3.° un cordoncino di cotone inzuppato nell' acqua pura. La corrente di questo circuito voltaico è debolissima per tre ragioni: 1.° perchè i due metalli eterogenei, rame e zinco, hanno pochissima superficie; 2.° perchè le funzioni di conduttore umido sono addossate ad una sostanza ben poco conduttrice, siccome è l' acqua pura; 3.° final-

mente perchè questo stesso liquido tocca in pochi punti l' arco elettromotore. Questi tre motivi rendono così debole quella corrente, che i galvanometri ordinarj la ricercano inutilmente sul cordoncino inumidito. Il mio invece la manifesta con deviazioni di 9 a 12 gradi. Non sarà dunque un pretender molto assicurando che se nelle parti degli animali esperimentati fosse esistito una corrente dieci volte più debole, che quella del nostro campione, l'istrumento ne avrebbe ancora dato qualche segno sensibile. Di quì ne viene quest'altra conseguenza; o che gli organi vasi scandagliati non sono destinati a condurre correnti elettriche, o che gli elettromotori che ve le spingono, sono d'una debolezza straordinaria. Ora sarebbe egli mai possibile che pile così poco efficaci bastassero all'esercizio delle funzioni vitali? Nello stato di assoluta ignoranza in cui siamo sulla natura delle forze dell'organismo animale, non si può nè si deve azzardare alcuna risposta decisiva. Confesseremo per altro che il giuoco delle funzioni vitali si presenta al nostro sguardo con tanta energia da crederlo piuttosto un effetto dovuto a cagioni del tutto sconosciute che all'azione ben nota di pile debolissime.

Le esperienze elettro-fisiologiche esigono il sussidio di diversi collaboratori in virtù della sollecitudine colla quale vanno eseguite. Quelli che mi hanno regolarmente assistito, sono stati i Sigg. *Minghetti*, *Bergonzi* e *Peri* Medici e Chirurghi abilissimi di questa nostra città di Reggio. Io colgo con piacere quest'occasione per dare ad essi una pubblica testimonianza della mia gratitudine per il modo con cui si sono compiaciuti di secondare le mie premure. La novità non meno che l'importanza del soggetto inspirerà probabilmente nell'animo d'altri fisici e fisiologi il desiderio di ripetere e variare i nostri primi tentativi. Sin da questo momento i miei bravi collaboratori ed io assumiamo col pubblico l'impegno di ritornare sulle nostre traccie, ogni qual volta sia per esigerlo l'interesse della scienza. Non è per certo molto estesa la serie degli esperimenti da noi eseguiti, ma per la costanza dei resultati negativi si rende tale da giustificarci abbastanza se non l'abbiamo, per la prima volta, spinta più oltre. Da altra parte non è quì da dissimulare il vivo desiderio che si ha d'accorciare, per quanto più si può, uno studio così crudele. Un solo motivo vale a giustificare esperimenti di tal sorte: fu quello per appunto che ci sostenne nella risoluzione di eseguire quel numero di scandagli che abbiamo riferito: motivo che i leggitori ravviseranno facilmente nella speranza di giovare in qualche modo ad una delle scienze più utili, la Fisiologia.

NOTA

Prima d'eseguire le suddette esperienze ne feci una sulla circolazione della *Chara* cercando di vedere se mai questo impor-

tante fenomeno fosse dovuto all' azione d' una specie di pila, come sembra indicare l' interna struttura di quell' erba. (Vedi su questo proposito alcune osservazioni d' Amici e di T. F. W. Herschel.) Il mio Galvanometro, applicato colle sue estremità sul corso del succhio della *chara* non diede alcun indizio di movimento. Dopo quest' osservazione mi cadde in mente il pensiero di sottoporre la circolazione della *chara* all' azione d' una corrente voltaica. Questo secondo esperimento fu eseguito in compagnia dei celebri due professori Amici, e Baccelli. Uno osservava la circolazione della *chara* sotto al forte microscopio d' Amici, mentre gli altri ora mettevano quell' erba nel circuito d' una pila a piccoli dischi mediocremente eccitati, ora la toglievano dal circuito. Si osservò che la presenza della corrente elettrica lungo la *chara*, o sospendeva del tutto la circolazione del succhio, o la scemava di molto. Allorchè s' interrompeva il circuito, la circolazione si rianimava, ma non sembrò che essa riacquistasse mai l' originaria sua velocità. È da notarsi che le file di coroncine le quali si mostrano ben diritte ed ordinate in mezzo alla circolazione quando questa è nel pieno suo vigore, compariscono torte e disordinate dopo il passaggio della corrente elettrica. Questa circostanza fa presumere che l' azione della pila si riduca, lungo la *chara*, ad un' azione puramente disorganizzante.

Ho notato queste poche osservazioni sulla *chara*, non solo per la relazione che hanno col soggetto del presente scritto, ma eziandio per invitar in particolar modo i botanici a sottomettere ad un esame elettro-dinamico tutti i vegetabili capaci di prestarsi a questo genere di studj.

(*Giornale di Pavia*. Tomo VII anno 1825)

SUL

MAGNETISMO DEL RAME

E DI ALTRE SOSTANZE

(Nota comunicata agli estensori della Biblioteca Universale di Ginevra)

Il fascicolo di agosto 1825 del vostro interessantissimo Giornale contiene i risultati ottenuti da diversi fisici Inglesi e Ginevrini intorno all' azione che esercitano sopra le calamite i metalli in rotazione. Noi pure, il Prof. Baccelli ed io abbiamo sino dalla primavera passata eseguito un corso di esperimenti intorno al medesimo soggetto. Il nostro lavoro coincide in gran parte con quello dei fisici che ci hanno prevenuti nella pubblicazione delle rispettive loro ricerche; ad onta di ciò daremo ora, sebbene un poco tardi, una breve notizia delle nostre indagini se non fosse per altro onde far palese l'interessamento che prendemmo alla scoperta del Sig. Arago sin dai primi momenti che si divulgò fra noi. Del rimanente questo nostro estratto non consisterà in una nuda conferma degli altrui risultamenti avendo tuttavia, se non c'inganniamo, qualche nuova osservazione da aggiungere a quelle che si sono fin qui pubblicate.

Il nostro lavoro cominciò dal ripetere la prima esperienza d'Arago relativa all'influenza del rame sulle oscillazioni dell'ago magnetico: verificammo in allora che queste oscillazioni diminuivano sensibilmente alla presenza del metallo, ma non ci parve che una tale diminuzione fosse così considerabile come fu annunziata: ad ogni modo osservammo che egli è sulle prime più ampie oscillazioni su cui cade la più grande differenza. Uno de' nostri aghi p. e. deviato di 90.° dalla linea del suo equilibro non perdeva 30.° nell'ampiezza delle sue oscillazioni che dopo di dodici oscillazioni doppie; tale perdita invece veniva fatta dall' ago stesso in sole tre oscillazioni quando oscillava a pochissima distanza da un disco di rame. Questa differenza diminuiva poi così rapidamente in tutto il resto delle successive oscillazioni, che il numero totale delle oscillazioni eseguite dall'ago fuori del rame e sul rame conservava appena il rapporto di 3. 2.

Verificato questo primo fatto passammo a studiare l'azione dei metalli in rotazione. Ci procurammo a tale oggetto dei dischi possibilmente uguali nelle loro dimensioni di rame, ottone ec., da applicarsi successivamente ad una macchina di rotazione col mezzo di una vite che l'attraversava nel centro. Col disco di rame

ottenemmo facilmente la rotazione di molti aghi magnetici, ma particolarmente di quelli accoppiati in guisa da essere sottratti all'azione del magnetismo terrestre.

Per valutare l'azione de' differenti metalli stabilimmo di notare sin dove essi spingevano lo stesso ago magnetico conservando in ogni caso costanti le due condizioni della rotazione e della distanza dell'ago. Trovammo che mentre l'ago si portava

a	55°.	sul Rame
andava a	11°.	« Zinco
	14°.	« Ottone
	10°.	« Stagno
	8°.	« Piombo

questa scala combina con quella presentataci da Babbage ed Herchel (1)

La temperatura non sembra alterare i risultati. Una lampada circolare a spirito di vino accesa al disotto d'un grosso disco di rame riscaldava gagliardamente questo metallo ma senza renderlo nè più nè meno attivo di quel che fosse alla temperatura ordinaria. I dischi frastagliati ci hanno presentato quella diminuzione d'attività, che procede dalla mancanza di materia, e che fu fin da principio annunziata da M. Arago. Alla rotazione de' metalli abbiamo fatto succedere quella di altre sostanze appartenenti alla classe dei coibenti come il vetro, e le resine, ed all'altra dei conduttori imperfetti come il legno ed il cartone tanto asciutti che inumiditi. Ci siamo assicurati a varie riprese che niuna di queste sostanze agisce sensibilmente sull'ago magnetico: abbiamo per esse apparecchiati degli aghi astatici di una sensibilità sorprendente, ed accresciuto d'assai il moto di rotazione, ma nemmeno con tutto ciò ci è riescito scoprire alcun sensibile indizio della loro azione. Egli è vero che abbiamo talvolta veduto i dischi di ceralacca strascinare nel loro movimento rotatorio qualche ago magnetico, ma quest'effetto era in allora dovuto ad alcune parti del disco elettrizzatesi accidentalmente col fregamento; ed una volta riconosciuta la cagione di questa anomalia ci fu facile di riprodurla a piacimento.

Restava da vedere se facendo oscillare gli aghi magnetici sopra le sostanze non metalliche si potesse in tal guisa scoprire ciò che non si poteva coll'artifizio della rotazione. Abbiamo posto in opera anche un tal metodo, ma senza accorgerci di alcuna apprezzabile differenza fra le oscillazioni d'un ago fatte alla presenza, e fuori della presenza delle sostanze non metalliche esperimentate prima col mezzo della rotazione.

Applicando ad un disco di legno due verghette calamitate abbiamo con poca fatica impresso il giro rotatorio tanto ad un

(1) Bibl: Univ: Tomo 29. Pag. 355.

ago di rame liberamente sospeso, quanto ad un intero disco dello stesso metallo. L'ago di rame sottoposto all'influenza d'un grosso disco della medesima materia non si è punto mosso al girar del disco.

Sono noti i varj metodi, coi quali si calamita il ferro, e l'acciajo. Il rame non ne somministrerebbe egli per avventura un nuovo? Guidati dal modo con cui si calamitano gli aghi dentro alle spirali elettriche, abbiamo fissato alla macchina di rotazione un cannoncino di rame coll'idea di collocare nel suo vuoto interno un ago di ferro dolce di facilissima calamitazione. Il tubo rotante non comunicò a quest' ago alcun magnetismo sensibile. Abbiamo tentate alcune altre disposizioni ma tutte inutilmente.

Dopo la scoperta d'Oersted la scienza si è arricchita d'una nuova specie di magnetismo, l'*elettro-dinamico*. Era pur questo da sottoporsi all'esperimento. Il primo sistema che abbiamo esposto all'azione del disco di rame in rotazione, è stato uno strato di mercurio traversato da una corrente elettrica dal centro alla circonferenza. Abbiamo in seguito costruito de'conduttori mobili di diversa forma e specialmente delle spirali astatiche atte a rappresentare due aghi magnetici sottratti all'influenza del magnetismo terrestre. Niuno di questi conduttori ha dato segno di movimento. La corrente per altro che fu impiegata in questi tentativi era piuttosto debole perchè eccitata da un solo elemento alla Wollaston di 75. pollici quadrati di superficie. Troppo stretta è l'analogia che sussiste fra i fenomeni delle calamite e dei cilindri elettro-dinamici per non credere, se non certa, probabilissima cosa almeno che anche i conduttori voltaici convenientemente configurati abbiano a risentirsi dell'azione de' metalli in rotazione. Noi siamo di questo parere, ma nello stesso tempo pensiamo che a render palese una tale influenza si esigano correnti di un' energia di gran lunga maggiore di quella che fu da noi impiegata. Quindi è da desiderarsi, che i fisici che posseggono de' grandiosi apparecchi voltaici replichino questi esperimenti con mezzi proporzionati al bisogno (2). . . . . .

(2) Non tardò di fatti a realizzarsi l'effetto per opera d'Ampere, come è noto. Si omette poi il rimanente della *Nota*, perchè relativo ad opinioni smentite dalle scoperte posteriori. (*Bibl. Univ. T.* XXXI. *pag.* 45).

SOPRA UNA NUOVA CLASSE

DI

FENOMENI ELETTRO-CHIMICI

Sebbene l'azione chimica della pila sia conosciuta da parecchi anni, pure le nostre cognizioni non sono molto estese intorno a siffatto genere di decomposizione. Tutto ciò che sappiamo di certo si riduce al noto canone che l'ossigeno, e gli acidi vanno al polo positivo, mentre l'idrogeno, e le basi alcaline, e metalliche vanno al negativo. Questa separazione d'elementi non esige, generalmente parlando, alcuna precauzione: basta che il liquido da decomporsi entri nel circuito voltaico mediante due fili di platino che peschino in esso, e comunichino in pari tempo colle due estremità della pila. Io ho variata questa disposizione, ed ottenuto in tal guisa certi resultati che mi sembrano aprire un nuovo campo di ricerche. Mi sono servito di un artifizio consimile a quello che fu impiegato da Wollaston per decomporre l'acqua coll'elettricità ordinaria. Egli espose quel liquido all'azione di scintille elettriche dirette alla punta di fili d'oro sottilissimi isolati dentro a tubi di vetro. Tengo io pure da un lato concentrate le correnti voltaiche non permettendo, con un conveniente isolamento, che passino dal liquido da decomporsi, che per la punta di un filo di platino. Dall'altro lato ricevo le stesse correnti sopra conduttori più estesi ridotti, nell'estremità che pesca nel liquido, a forma di dischi, o d'altri piani che colloco perpendicolari alla direzione della corrente, e vicinissimi alla punta del conduttore ristretto. Una mezza linea, ed anche meno è l'intervallo che soglio lasciare fra loro, e che regolo facilmente coll' applicare i conduttori ad un meccanismo adattato.

I fenomeni si manifestano sul conduttore esteso: essi dipendono dalla natura di questo, e del liquido e nascono precisamente in faccia della punta del conduttore ristretto. Quest'ultimo il quale non presenta nel caso nostro alcuna singolarità può esser sempre lo stesso filo, ma giova che sia di platino per conservarsi, e bene affilato nella punta per il miglior esito di certe esperienze. I fenomeni si producono in breve tempo e sotto l'influenza di correnti molto discrete. Pochi secondi bastano talvolta al successo dell'esperimento, nè rispetto alla forza della corrente dirò altro se non che mi sono quasi sempre limitato a quella di dodici piccoli elementi di un solo pollice quadrato di superficie. Esporrò le osservazioni con quello stesso ordine che ho seguito nel farle, senza impegnarmi per ora nè in molti dettagli, nè in alcuna teoria. Non è questo che un saggio di esperienze destinato al solo oggetto di porre i fisici in

istato di osservare, e seguire da se medesimi una classe d'apparenze che mi sembrano nuove, e che sono d'altronde così facili da produrre, che si possono verificare da un momento all'altro. Alcune di esse si manifestano dal lato positivo dalla pila, altre dal lato negativo: eviterò qualunqne confusione coll'aggiungere sempre al metallo dell'esperimento il nome del polo che gli appartiene.

Solfato di rame (1). Questo sale è stato sperimentato sopra l'argento, il platino, lo stagno, il piombo, il bismuto, e l'ottone. L'argento, e l'ottone sono le sole due sostanze metalliche che abbiano prodotto de' fenomeni distinti. Sull'argento *positivo* (comunicante cioè col polo *zinco* della pila) si formano dinanzi alla punta del conduttore negativo, quattro, o cinque cerchi alternamente chiari, ed oscuri. Sull'argento *negativo* (comunicante cioè col polo *rame* della pila) si formano per lo più tre piccoli cerchi concentrici di rame proveniente dalla decomposizione del solfato: il centrale, ed il terzo sono d'un rosso piuttosto carico, il secondo di un rosso più chiaro: sono questi i colori del rame ne' due stati d'ossido, e di metallo puro. Passando leggermente uno strato d'acido nitrico al disopra dei suddetti cerchi spariscono quasi intieramente i cerchi dell'ossido; rimane quello del rame puro filettato da un poco d'ossido. Invece dei tre cerchi se ne formano talvolta quattro, ed anche cinque, le cui tinte s'alternano come nel primo caso.

Sull'ottone *positivo* si formano diversi giri concentrici, che puliti con un pannolino lasciano su quella lega la traccia di cinque cerchi concentrici del color giallo dell'ottone, ma gli uni più chiari degli altri. I più scuri alternano coi più chiari.

Sull'ottone *negativo* repristinazione del rame in cerchi di più colori a un dipresso come sull'argento.

Solfato di Zinco. Sull'argento *positivo*, macchia nera nel centro, indi cerchio giallognolo, poscia un cerchio di blu sfumato, infine una bella zona tendente al giallo.

Sull'ottone *positivo*, cinque piccoli cerchi di rame messo allo scoperto dall'azione della corrente: sono essi di due colori uno più carico dell'altro, alternati nell'ordine con cui si succedono, e tali in apparenza da attribuirli alla differenza che passa fra il rame allo stato d'ossido, e il rame allo stato di purezza.

(1) Questo sale, come pure tutti gli altri che segnono, sono stati sciolti nell'acqua distillata, ma senza tener conto delle loro proporzioni col dissolvente. Le soluzioni basta che siano discretamente cariche per non aver a temere del successo degli esperimenti.

Le diverse preparazioni mi sono state gentilmente favorite dall'esimio Sig. Merosi Professore di Chimica in Reggio. La cortesia non è delle più comuni: ed io gli sono grato egualmente per questo motivo, che per l'assistenza che si è compiaciuto prestarmi nel corso degli esperimenti di questo saggio.

Solfato di Manganese. Sull' argento *positivo*, cinque cerchi concentrici alternamente chiari, ed oscuri. Il quinto cerchio che è più distinto degli altri, è circondato da un' aureola giallognola che si perde in un color violaceo. La formazione di questi cerchi, è consimile a quella che si ottiene col solfato di rame, ma non è però identica.

Sull'ottone *positivo*, cinque piccoli cerchi alternamente chiari, ed oscuri.

Sul bismuto *positivo* si formano quattro cerchi: il centrale è bianco, il 2.° scuro, il 3.° giallognolo, il 4.° nero.

Dal lato negativo nulla di particolare.

Nitrato di Bismuto. Sull' oro, e sull' argento *negativi* nascono quattro, o cinque cerchi concentrici diversamente colorati, ma poco distinti. Sembrano le gradazioni de' colori, che offre il bismuto nell' ossidarsi. Passando un velo d' acido nitrico al disopra di que' colori si scuopre nel centro il fondo del metallo che ha servito da conduttore.

Acetato di Piombo. Sull' oro, e sul platino positivi si formano in pochi istanti diverse iridi concentriche così vive e brillanti come gli anelli colorati che si veggono fra le lenti leggermente convesse di Newton. Quelle iridi nascono le une dentro alle altre incalzandosi a modo delle onde: la loro vivacità, e distinzione dipende in gran parte dal levigamento della superficie su cui si producono. Sopra piani poco lucenti riescono infatti languide e confuse. Resistono all' azione di un fuoco moderato, ma spariscono in parte sotto l' azione dell' acido nitrico.

Questa circostanza congiunta ad altre riflessioni facili ad immaginarsi, lascia pochi dubbi sulla natura del fenomeno: non pare che possa esser altro che un fenomeno di lamine sottili le quali vengono a deporsi sotto l' azione della corrente voltaica sopra la superficie dell' oro, e del platino. Il fenomeno diventa più vago, e variato col moltiplicare le punte dal lato negativo disponendole con simetria come sarebbe per esempio a triangolo a quadrato ec. ec. Quante sono le punte, vi si formano in faccia altrettanti sistemi d' iridi concentriche li quali non s' incrociano già nel dilatarsi come fanno le onde, ma pervenuti a contatto si estendono al di fuori in guisa tale da comporre per tutti un solo contorno. Alla vista di quest' accidente il pensiero corre subito alle lamine vibranti, e ci pare di vedere ciò che accade alla polvere di Chladni, di Paradisi, e di Savart quando è scossa da varj centri di vibrazione.

L' argento *positivo* presentò anch' esso il fenomeno delle iridi, ma molto meno distintamente che non fanno l' oro, ed il platino. Il piombo, lo stagno, il rame, il bismuto, e l' antimonio non presentano nulla di rimarchevole.

Acido acetico. Nulla sull' oro, e sul platino *positivi* che si colorano così vagamente coll' acetato di piombo.

Acetato di Rame. Poco, o nulla d'interessante sui tre metalli platino, oro ed argento quando sono positivi. Non è così allorchè si rendono *negativi*. Sull'argento per esempio si formano sovente quattro cerchi concentrici i quali prendono all'aria le seguenti tinte; blu carico nel centro; indi un rosso giallo; poscia un blu meno carico; infine un altro rosso giallo esteso in un cerchio più largo del secondo. Passando un velo d'acido nitrico sopra i suddetti cerchi sparisce l'esteriore e rimangono i tre interni coi colori ordinarj del rame nei due stati d'ossido, e di metallo puro. Nel centro si vede l'ossido, indi il metallo puro contornato da altro ossido.

Il platino, e l'oro presentano degli accidenti analoghi.

Acetato di barite. Sull'oro, e sul platino *positivi* nulla.

Sull'argento positivo tre piccoli cerchi concentrici alternamente chiari ed oscuri.

Acetato di potassa. Sull'oro, e sul platino *positivi* nulla. Sull'argento *positivo* un cerchio scuro nel mezzo di tre in quattro linee di diametro circondato da un filo d'argento brillantissimo al quale poi succede un'aureola di varj colori piuttosto languidi. Il cerchio scuro non diventa tale che all'atto in cui s'interrompe il circuito. Si direbbe quasi che i veli esteriori si contraessero al centro tosto che cessa l'azione della corrente. Tale è almeno il giudizio dell'occhio. Questo accidente merita riflessione in quanto che non mi si è presentato che coll'acetato di potassa.

Acetato di mercurio. Si è provato sull'oro e sul rame i quali non hanno offerta alcuna particolarità dal lato positivo egualmente che dal negativo.

Acetati di rame e di piombo. Mischiati insieme, belle iridi sull'oro, e sul platino *positivi* come quando si opera sul solo acetato di piombo. Questo sale sarebbe mai il solo che godesse la proprietà di colorare a quel modo i due metalli più difficilmente ossidabili? Ma se quelle iridi derivano, come par certo, da qualcuna delle sostanze elettro-negative della soluzione che si depongono in lamine sottili sulla superficie di que' due metalli, per qual ragione non accade egli altrettanto cogli altri acetati? Sarà questa una questione non indegna d'esercitare la sagacità de' nostri chimici.

Sull'argento *negativo* si formano molti circoli concentrici i quali riescono ordinariamente così; nel centro un cerchio oscuro, indi un cerchio giallo tendente al rosso; poi sul terzo cerchio un nero molto carico; indi un bel cerchietto di rame puro; poi un altro scuro meno carico; infine una zona di rame sfumata.

Passando un velo d'acido sopra questa serie di cerchi si scuopre nel mezzo il brillante dell'argento contornato da quattro cerchi di rame ne' due stati d'ossido e di metallo puro. Questi si alternano al solito, e divengono più distinti col lavarli una seconda volta con un poco d'acido nitrico.

Idroclorato di Stagno. Si è provato sull'oro, sul bismuto, e sull'acciajo tanto *positivi* che *negativi*. Nulla altro di rimarchevole se non che la solita alternativa di cerchi chiari, ed oscuri sul bismuto *positivo*.

Idroclorato di Cobalto. Sull'argento positivo, iridi concentriche passabilmente distinte; per averle distinte il più che si può conviene impiegare una corrente debolissima, basta quella di quattro, o cinque de' miei elementi: nulla sul platino, e sull'acciajo *positivi*.

Tartrato di Potassa antimoniata (tartaro emetico). Sull'argento *positivo* cinque cerchi concentrici colorati a questo modo cominciando dal centro: il 1.° scuro, il 2.° bianco d'argento, il 3.° azzurro tendente al violaceo, il 4.° bianco d'argento, il 5.° violaceo sfumato tutto all'intorno.

Sull'argento *negativo* altri cinque cerchi concentrici; il 1.° nero, il 2.° giallognolo, il 3.° nero, il 4.° celeste chiaro, il 5.° scuro sfumato.

Clorato di Platino. Sull'argento *positivo* macchia nera nel mezzo, indi un cerchio color di cenere; poscia un'iride sfumata.

Sull'argento *negativo*, macchia nera nel centro; cerchio chiaro d'intorno, poscia un cerchio più nero circondato da un'iride sfumata; indi un'altro cerchio nero con sfumatura.

Sul platino *positivo* nulla. Sullo stesso metallo *negativo*, due cerchietti tendenti al nero d'intorno ad un cerchio bianco.

Nitrati di rame e d'argento mescolati insieme. Sull'argento *positivo*, cerchio brillante d'argento nel mezzo; indi un cerchio scuro; poi un secondo cerchio d'argento; infine altro cerchio scuro ma sfumato.

Acido solforico. Sull'argento *positivo*, cerchietto giallo nel mezzo; poi un cerchietto rossiccio; indi un cerchio bianco d'argento; indi una grande aureola di varj colori, la quale comincia col giallo, e finisce violacea.

Acido ossalico. Sull'argento positivo, tre cerchi ben distinti il 1.° giallo, il 2.° rossiccio, il 3.° del color del primo, ma più grande.

Sotto carbonato di potassa. Sull'argento *positivo*, graziosa disposizione di cerchi concentrici che si dilatano, a vista d'occhio, e finiscono in una bella gradazione di colori. Ho coperto con un'poca di mussolina la lamina d'argento per vedere se questa specie di velo impedisse il fenomeno; ma non lo altera punto.

Sull'oro, e sullo stagno positivi nulla.

Sal comune. Sull'argento positivo bella serie di cerchi concentrici circondata da varie iridi. Questo fenomeno è anche più vago del precedente, ma non si mantiene in tutta la sua bel-

lezza che per poco tempo. Il contatto dell' aria illanguidisce e confonde un poco le sue tinte che sono in una perfetta armonia. Riscaldando subito la lamina d' argento, tutti gli anelli prendono un bel color rosso variamente intenso, sulla traccia dei cerchi che esistevano dapprima.

Dopo quest' azione il coloramento acquista una certa permanenza. Si perdono per altro in virtù del calore alcune zone esteriori, come pure dalla parte delle centrali. Questi accidenti non sembrano difficili da spiegare. La deposizione in veli sottili delle sostanze elettro-negative comincia nel centro della lastra d' argento, e va di mano in mano scemando tutto all' intorno. Gli ultimi strati, cioè gli esteriori sono amplissimi e sfumano sotto l' azione del calore. Nel centro la deposizione è molto maggiore, ma quivi si forma, in grazia di tale abbondanza una specie di crosta che screpola al fuoco, e salta via facilmente dal metallo.

Sul rame *positivo*, alternativa di cerchi chiari e scuri, cominciando dal centro che è scoperto.

Sull' ottone *positivo*, varj cerchi concentrici che puliti con un pannolino presentano all' occhio tre o quattro giri alternamente rossi, e gialli. I rossi nascono dal rame dell' ottone, il quale ha ivi perduto lo zinco, che entra nella sua composizione.

Sullo stagno, e sul platino *positivo*, nulla.

Idroclorati di potassa, di sodio, e d' ammoniaca. Questi sali agiscono a un dipresso come il sal comune.

Sotto carbonato di sodio. Sull'argento *positivo*, serie di cerchi variamente colorati, in cui campeggia il ceruleo.

Solfato di sodio. Sull'argento *positivo*, cinque piccoli cerchi concentrici; nel centro un punto nero, indi un cerchio ceruleo chiaro, poscia due altri cerchi oscuri separati da un cerchio chiaro.

Urina. Sull'argento *positivo*, varj ordini di brillantissime iridi intorno ad un centro scuro; asciugate che siano si conservano al contatto dell' aria.

Urea. Agisce a un dipresso come l' urina, ma produce dei colori meno vaghi.

Urina e sal comune. Sull'argento *positivo* disposizioni analoghe alle precedenti, ma più minute in grazia della moltiplicazione degli anelli colorati. Sotto l' azione del fuoco la serie degli anelli acquista un bel color rosso senza che nasca confusione fra le tinte che si conservano.

Sul platino *positivo*, nulla affatto.

Sull' ottone, e sul rame positivi pochi cerchi insignificanti.

Le mie sperienze non vanno per ora più oltre. Estese che siano, condurranno forse a maggiori conseguenze; ma nel momento non pare che esse pongano in evidenza altri risultati fuorchè i due seguenti. Consiste il primo nella proprietà che hanno certe sostanze elettro-negative di attaccarsi, in determinate circostanze, alla superficie di alcuni fra i metalli meno ossidabili, in veli così sottili e regolari, da farne uscire in mille foggie variate, il grazioso fenomeno degli anelli colorati. Le arti chiameranno probabilmente in sussidio questo nuovo metodo di coloramento, e riusciranno forse con poca fatica a trarne partito in qualche oggetto di lusso. Quando poi le sostanze elettro-negative non si depongono sui metalli in lamine sottili, attaccano in generale la loro superficie, ma non già uniformemente, o come avrebbe sembrato, con una sola gradazione d'intensità, più forte nel centro e via via sempre minore alle parti: l'attaccano invece per intervalli regolari, seguendo, dirò così, una legge analoga a quella delle *interferenze*. Al polo negativo dove accorrono le sostanze elettro-positive si osserva talvolta lo stesso fenomeno, l'alternativa cioè dei cerchi d'ossido, e di metallo puro. Queste alternative costituiscono il secondo risultato. Sarebbe mai vero che l'irraggiamento delle correnti elettriche andasse soggetto ad una legge d'*interferenza*? Certe alternative sussistono, ma prima di apprezzarle al giusto loro valore converrà aspettare l'oracolo di nuove esperienze.

(*Reggio* 20 *Novembre* 1826.)

Google

NUOVE ESPERIENZE

ELETTRO-CHIMICHE

Nella classe de' fenomeni elettro-chimici da me ultimamente osservati, le apparenze più cospicue, e variate non si presentarono che al polo positivo, dove accorrono le sostanze elettro-negative, e dove questi principj si depongono in veli sottili allorquando si trovano nelle circostanze indicate nelle varie serie de' primi miei esperimenti. Ora proseguendo lo stesso genere di ricerche, mi è riuscito di conseguire al polo negativo de' fenomeni egualmente grandiosi, i quali permettono d'istituire un più esatto confronto fra gli effetti dei due poli. Due mezzi concorrono a questo fine: l' uno consiste nel crescere la forza della corrente, l'altro che è molto più efficace, consiste nel mescolare insieme due, o tre soluzioni. Descriverò senz'altro preambolo i risultati che ho ottenuto con questi due mezzi; indi aggiungerò gli effetti prodotti da alcune sostanze animali, e vegetabili esperimentate da me collo stesso metodo.

Preparazioni chimiche.

Acetato di rame e sal nitro. Sull'argento *negativo*, bellissima disposizione di cerchi concentrici che cominciano al centro col brillante dell'argento, e si succedono nell' ordine seguente.

Due piccoli cerchi d'un verde poco carico, un cerchietto bianco, un cerchio rosso, un altro verdognolo, indi una zona di rame di un bel rosso di fuoco brillantissima. Questa zona è circondata da un cerchio azzurro, che riesce talvolta diviso in guisa da figurare un circolo graduato. Le divisioni si estendono sulla zona di rame nella direzione del centro appunto come soglionsi segnare i gradi. Il cerchio azzurro è unito da una seconda zona di rame più larga della prima, ma egualmente brillante: essa è circondata da un cerchio di un bel verde, nel quale termina l' apparenza.

Sull' oro, e sul platino *negativo* apparenze analoghe. Giova molto per l'esito dell' esperimento che le lamine sieno discretamente levigate.

Acetato di rame, e solfato di rame. Sul platino *negativo*, centro scuro che pare ossido di rame, indi un cerchio chiaro di platino scoperto, indi una zona azzurra, poi un cerchietto verde, infine un' aureola di rame brillantissima. Nettando la superficie spariscono i colori azzurri, e verdi; non resta sulla lamina che una

velatura di rame distinta in cerchi di due tinte più o meno rosse.

Acetato di rame e solfato di soda. Sul platino *negativo*, centro bianco, indi un cerchio azzurro; poi un cerchio rosso, poi un altro d'un rosso più carico, indi due zone di rame di color di fuoco, ma l'una più vivace dell'altra. Il tutto è poi circondato da un' aureola turchina.

Sull'argento *negativo*, graziosa disposizione di cerchi concentrici analoga alla precedente, ma diversa nella qualità dei colori.

Acetati di rame e di barite. Sull'argento *negativo*, una grande e bella zona gialla d'intorno ad una graziosa serie di cerchi concentrici di varj colori. Fra questi campeggia una zona di color rosso separata dalla zona gialla da un cerchio bianco che è il fondo dell'argento. La parte centrale è occupata da cerchietti che tendono al giallo, e sono divisi da uno o più filetti neri.

Sul platino *negativo*, disposizione analoga, ma differente nella tinta di alcuni cerchi.

Acetato di rame e sal comune. Sul platino negativo, repristinazione del rame che sparisce a vista d'occhio appena s'interrompe il circuito.

Sul platino *positivo*, nulla.

Sull'argento *negativo*, bella serie di cerchi concentrici che nel formarsi incalzano una zona d'un bel bianco di latte. Que' cerchi sono così poco aderenti alla superficie dell'argento, che spariscono sotto la più debole fregagione.

Acetato di rame e urina. Sull'argento *negativo*, repristinazione del rame in zone concentriche che vanno dissipandosi a poco a poco dopo d'averle sottratte all'azione della pila.

Sull'oro e sul platino *negativo*, ripristinazione del rame in zone che svaniscono dopo l'azione della pila.

Acetati di rame e di potassa. Sull'argento negativo, ripristinazione del rame in cerchi concentrici, ma poco brillanti e poco variati.

Solfati di rame e di soda. Sull'argento *negativo*, disposizione analoga a quella dell'acetato di rame, e solfato di soda.

Solfati di manganese e di soda. Sul platino *negativo*, uno strato bianco composto di tante bollicine che si dissipano dopo aver estratta la lamina dalla soluzione.

Solfato di rame e sal comune. Sull'argento *negativo*, cerchi concentrici che incalzano nel formarsi una zona lattea come nel caso dell'acetato di rame e sal comune. È da notarsi che in questi casi la lamina d'argento è poco attaccata dalla soluzione.

Sul platino *negativo*, repristinazione del rame in cerchi che spariscono.

Solfato di rame e sal nitro. Sull'argento negativo, bella repristinazione del rame in cerchi concentrici vivamente colorati nel-

la parte centrale. Essi terminano in una larga aureola gialla divisa da loro mediante un cerchio d'argento. Dopo poco tempo i diversi cerchi prendono una tinta verde che rende più grazioso il fenomeno.

Sul platino *negativo*, repristinazione del rame in cerchi concentrici che si conservano.

Solfato di rame e idroclorato di potassa. Sul platino *negativo*, repristinazione del rame in piccoli cerchi che durano qualche poco. I cerchi sono al solito di varie tinte.

Sull'argento *negativo*, quattro cerchi ben distinti: il centrale d'ossido di rame, il secondo di rame puro; il terzo verde, il quarto latteo.

Solfato di rame e idroclorato di barite. Le soluzioni agiscono chimicamente fra loro: ad onta di ciò si ha sull'argento *negativo* un fenomeno analogo al precedente.

Sul platino *negativo*, repristinazione del rame in una piccola zona d'intorno a due cerchietti azzurri.

Idroclorato di rame. Sul platino *negativo*, repristinazione del rame in cerchi di due tinte che sono circondate da una zona lattea.

Soffregando la superficie con un dito rimane una zona di rame filettata al di dentro da ossido dello stesso metallo e divisa per mezzo da un cerchio di rame più scuro

Idroclorato di rame e di barite. Sul platino negativo lo stesso fenomeno che si ottiene col solo idroclorato di rame.

Idroclorato di rame e d'ammoniaca. Sul platino *negativo*, repristinazione del rame in cerchi che svaniscono appena s'interrompe il circuito: resta sulla lamina una semplice traccia del posto che occupavano i cerchi.

Sull'argento *negativo*, bella repristinazione del rame in cerchi concentrici che ne incalzano degli altri di altro colore. Il rame svanisce rapidamente all'atto che manca l'azione della corrente.

Idroclorati d'oro e di soda (muriato triplo d'oro de'farmacisti.)

Sul platino *negativo*, repristinazione dell'oro in cerchi concentrici colorati come segue incominciando dal centro, 1. un cerchietto d'un rosso scuro. 2.° uno di color di rame. il 3.° rossiccio, ed il 4.° color di carne; indi ne vengono quattro, o cinque cerchi di tinte gialle.

Sull'oro *negativo*, cerchio rosso scuro al centro indi un altro giallo, poi un cerchietto verde in mezzo a un giallo che finisce in rosso carico come il centro.

Idroclorato d'ammoniaca e ammoniuro di rame. Sul platino *negativo*, repristinazione del rame in cerchi che svaniscono.

Idroclorati di cobalto e d'ammoniaca. Sull'argento, bella serie di cerchi concentrici variamente colorati all'atto in cui si for-

mano, in appresso llanguidiscono un poco, ed alcuni cangiano le loro tinte.

Idroclorati di cobalto e di calce. Sul platino *negativo*, un velo bianco che ne appanna la superficie, e che si dissipa in un momento.

Sull' argento *negativo*, a un dipresso lo stesso fenomeno.

Nitrato di rame e idroclorato di calce. Sul platino *negativo*, cerchi che svaniscono appena formati.

Sull'argento *negativo*, cerchi analoghi a quelli che si ottengono con altri idroclorati, ma che presto si alterano.

Nitrati di rame e di calce. Sull'argento *negativo*, macchia nera nel mezzo, poi una zona che par di rame scuro, indi una zona scura ben contornata, poi una larga fascia di rame che termina in una sfumatura bruna.

Sul platino *negativo*, fenomeno analogo.

Nitrati di rame e di potassa. Sull'argento negativo come sopra.

Sul platino *negativo*, lo stesso fenomeno a riserva della permanenza. Sull'argento si conservano i cerchi colorati mentre spariscono sul platino.

Nitrato di rame e idroclorato di potassa. Sull'argento *negativo*, cerchi concentrici che incalzano nel formarsi una zona di un bel bianco di latte come in altri casi.

Sul platino *negativo*, repristinazione in cerchi che svaniscono lentamente.

Acetato di mercurio e sal nitro. Sul platino, e oro negativo, velo fugace che vi si distende sopra.

Acetato di rame, solfato di rame, e sal nitro. Sul platino *negativo*, molti cerchi concentrici fra cui campeggiano due zone, l'una al di fuori di rame color di fuoco, l'altra al di dentro cerulea. La parte centrale è poi occupata da diversi cerchi ben distinti, e variamente colorati.

Acetato di rame, solfato di rame e idroclorato di potassa. Sul platino *negativo*, repristinazione del rame in cerchi che svaniscono all' atto in cui si sottraggono all' azione della corrente. Tutt'al più rimane sulla lamina una languidissima traccia del fenomeno preesistente.

Sull'oro *negativo*, a un dipresso come sul platino.

Sull'argento *negativo*, bella serie di cerchi concentrici disposti come segue. Nel centro un cerchietto rosso scuro che pare ossido di rame, indi un bel cerchio di rame che tende al color di carne, poi un filetto nero seguito da una sfumatura nerognola la quale termina in una zona lattea. Questa zona è poi circondata da un' aureola di varj colori. Tutta l'apparenzà si conserva quasi interamente quando sia stata esposta per un tempo discreto all'azione della pila. Soffregando la superficie con un velo d'acido solforico non rimane del fenomeno che una zona di rame d' intorno a un centro bianco.

Digitized by Google

Acetato di rame, solfato di rame, e idroclorato di soda. Sull'argento *negativo*, disposizione analoga alla precedente.

Sull'oro, e sul platino *negativo*, repristinazione del rame in cerchi che spariscono.

Nitrato di rame e idroclorati di cobalto, e di calce. Sul platino *negativo*, repristinazione delle basi metalliche in veli concentrici che svaniscono.

Sull'argento *negativo*, disposizione analoga a quella d'altri casi.

Sostanze animali.

Urina (1). Sull'argento *positivo*, un punto di color terreo al centro, indi due o tre cerchietti di due tinte azzurre molto delicate. Vengono in seguito varie iridi ben distinte ne' colori senza esser molto rinforzate.

Parte sierosa del sangue umano. Sul platino, e oro *positivi*, nulla.

Sull'argento *positivo*, al centro alcuni cerchi cenerognoli, indi una zona d'argento bellissimo, poi una serie d'iridi vivacissime l'ultima delle quali si perde in una sfumatura violacea: sotto l'azione del calore le iridi si arrossano.

Sull'argento platino, e oro *negativo*, si depone una sostanza biancastra che non aderisce alla superficie di que' metalli.

Latte vaccino. Sul platino *positivo*, nulla.

Sull'argento *positivo*, al centro punto scuro, poi serie di piccoli cerchi di tinte languide, e di colori lattei, poscia un cerchio d'argento; indi una o due belle iridi dove campeggia il rosso. Questo fenomeno ha una certa analogia con quello del siero del sangue umano, ma pure si distingue assai bene da esso.

Sull'argento *negativo*, disposizione di materia biancastra.

Albume d'uovo di gallina. Sull'argento *positivo*, al centro una materia biancastra, divisa da due o tre cerchi più o meno scuri, indi una bella zona d'argento, infine una o due belle iridi.

Giallo dello stesso uovo. Sull'argento *positivo*, fenomeno similissimo al precedente.

Saliva. Sull'argento *positivo*, serie d'iridi dove risalta un cerchio giallo che distingue quest'apparenza dalle precedenti. Il cerchio giallo cangia di colore sotto l'azione continuata della pila; si converte in celeste, ed in paonazzo.

Sangue di gallina tratto di fresco. Sull'argento *positivo*, disposizione analoga a quella dell'albume d'uovo colla quale si è fatto l'immediato confronto. Le iridi per altro tendono in questo caso al verde e al giallo più che agli altri colori.

(1) Questa sostanza che fu già compresa nella prima serie d'esperimenti, si registra di nuovo in questo luogo per averla unita alle altre sostanze animali.

Bile porcina. Sull'argento *positivo*, deposizione al centro di materia scura e gialla, la scura al di dentro, e la gialla al di fuori. Indi ne vengono alcuni cerchi variamente colorati i quali terminano in un' iride ben decisa. Quest'iride si perde in una zona cerulea. Tra i cerchi interiori e l'iride vi ha una zona d'un bel color di rosa.

Bile Umana. Sull'argento *positivo*, apparenza consimile a quella del caso precedente.

Umori degli occhi di un majale.

1°. *Umor aqueo*. Sull'argento *positivo*, cerchietti al centro un poco confusi ma che finiscono distintamente in un cerchio di color latteo. Indi ne viene una zona d'argento scoperto, poi varii corsi di belle iridi.

2°. *Umor cristallino*. Sull'argento *positivo*, apparenza confusa in grazia della viscosità di quest'umore. Diluito in un po' d'acqua distillata e spremuto attraverso d'un pannolino ha prodotto un' apparenza più distinta, composta di cerchi passabilmente colorati. Sul centro si depone uno strato di materia bianca, che sembra una membrana, e che scorre via tutta unita all'atto in cui s'inclina la lamina.

3.° *Umor vitreo*. Sull'argento *positivo*, apparenza consimile a quella dell'umor acqueo, a riserva del contorno latteo che manca ai cerchi centrali.

Si è, in un altro esperimento, diluito nell'acqua distillata, un po' d'umor aqueo, estratto da un altro occhio di majale. Il centro dell'apparenza è riuscito in allora distinto, e si è coperto d' uno strato analogo a quello dell' umor cristallino, ma molto più in piccolo rispetto a quella specie di disco.

Sostanze vegetabili

Succo di carote (*Daucus carota di Linneo*). Sull' argento pos. centro scuro in mezzo a due cerchi, l' uno giallognolo, l'altro verdastro. Indi varie zone di colori languidi.

Succo di cipolla (*Allium caepa* di Lin.). Sull' argento pos. punto nero in mezzo a due cerchi che tendono l' uno al giallo, e l'altro all' azzurro. Vengono in appresso varii cerchi languidamente colorati.

Succo di prezzemolo (*Apium petroselinum* di Lin.). Sull'argento pos. al centro un punto scuro circondato da materia bianchiccia e verde. Indi due corsi di belle iridi, uno più rinforzato dell'altro. Le iridi sono separate dai cerchi del centro mediante una serie di veli così sottili che si distinguono appena sopra il fondo dell' argento. Sotto l'azione del calore le iridi acquistano una vivacità e splendore straordinario.

Succo d'uva. Sull' argento pos., centro scuro, circondato di varii colori cerulei.

Succo d'aglio (*Allium sativum* di Lin.). Sull'argento pos. pun-

tino scuro in mezzo a due cerchietti, il 1° di color di latte, il 2° verde. Questi cerchi sono poi circondati da una zona gialla, sul contorno della quale comincia un altra zona di colore violaceo, molto languida e sfumata. Quest'apparenza non si può confondere con alcun' altra.

Succo di pomo. Sull'argento pos. centro nero circondato da parecchi cerchi languidamente colorati.

Succo di rafano. (*Raphanus sativus* di Lin.). Sull'argento posit. al centro punto scuro, poi un cerchietto bianco, indi una zona verdognola che termina in un cerchio ceruleo: poscia ne vengono uno o due cerchi d'un bel giallo d'oro. Infine alcune iridi non molto vivaci.

Succo di verze (*Brassica oleracea capitata sabauda* di Lin.) Sull'argento pos. punto bianco al centro, indi un cerchio di materia verdastra seguìto da un altro di materia scura. Poscia ne viene un'iride non molto brillante in cui risalta il giallo. L'iride si perde in fine in una zona cerulea.

Succo delle foglie di sedano (*Apium graveolens dulce* di Lin.) Sull'argento pos., deposizione al centro di due sorte di materie grigia l'una, verde l'altra. Succedono poscia varii ordini di belle iridi.

Barbabietola (*Beta vulgaris* di Lin.). 1°: *Succo della rapa.* Sull'argento positivo, punto rosso al centro circondato da quattro cerchi, il 1° giallo, il 2° ceruleo, il 3° rosso, il 4° verde. Dopo questi cerchi che occupano la parte centrale, vengono due o tre corsi di belle iridi.

2°. *Succo delle foglie.* Sull'argento pos., fenomeno consimile al precedente colla sola differenza d'alcune tinte nei cerchi che occupano la parte centrale.

Rapa (*Brassica rapa* di Lin.). 1° *Succo della rapa.* Sull'argento pos. punto scuro nel mezzo circondato da un cerchietto bianco e da una zona verdastra. Ne vengono quindi alcuni cerchi languidamente colorati.

2° *Succo delle foglie.* Sull'argento positivo; centro rossiccio circondato da un cerchio di materia verdastra. Indi una serie di zone coi colori dell'iride, ma molto sfumati, e d'una certa languidezza, sebbene notabilmente più vivi di quelli del caso precedente.

Indivia (*Cichorium indivia* di Lin.) 1.° *Succo delle radici.* Sull'argento pos. materia bianca al centro, circondata da altra materia d'un verde scuro, indi varii cerchi languidamente colorati.

2°. *Succo delle foglie.* Sull'argento pos. punto rossiccio nel mezzo, indi un cerchietto giallognolo, seguito da un altro cerchio più grande di colore verdastro. Poscia varii corsi di bellissime iridi.

Cavolo (*Brassica oleracea* di Lin.) 1.° *Succo del midollo delle radici.* Sull'argento pos. punto scuro nel mezzo con un cerchietto bianco all'intorno seguìto da una zona verdognola. Poscia

ne vengono varie altre zone languidamente colorate e tendenti al violaceo.

2.° *Succo del fiore*, diluito in un poco d' acqua distillata. Sull'argento positivo, centro rossiccio circondato da due cerchietti, l'uno cilestro, e l'altro verde scuro. Vengono in seguito alcune zone languidamente colorate e tendenti al violaceo come sopra.

3.° *Succo delle foglie*. Sull'argento pos., puntino rossiccio al centro, circondato da due cerchi l'uno giallo e l'altro verde. Ne vengono poi due zone di colori non molto vivi, ma però più forti di quelli dei due casi precedenti.

Eliotropia d'inverno) *tussilago fragrans*) 1.° *Succo delle radici*. Sull'argento pos. al centro un cerchio rosso scuro contornato da due altri cerchi l'uno giallognolo, e l'altro tendente al grigio. Vengono in appresso alcune zone cerulee molto languide.

2.° *Succo del peduncolo* Sull'argento pos. centro scuro circondato da un cerchio bianco. Indi varii ordini di minutissime iridi, discretamente colorate.

3.° *Succo delle foglie*. Sull' argento pos. centro scuro circondato da due cerchi cerulei l'uno più chiaro dell'altro. Indi ne vengono due corsi d'iridi vivamente colorate.

Quì finisce la seconda serie de' miei esperimenti. Essa è un poco più estesa della prima; ma la medesima sua estensione fa vedere l'immensità delle lacune che rimangono da riempire. Le esperienze di questo genere non hanno in certo modo confine, come non l'hanno le produzioni de' tre regni, indipendentemente dalle produzioni dell'arte. Non è per effetto di pura curiosità, ma per motivi più importanti che si avranno da passare a nuova rassegna tutte le sostanze che si possono decomporre colla pila: motivi che andrò accennando di volo nelle poche riflessioni che credo di dovere aggiugnere ai risultati fin qui ottenuti.

Prima di tutto è da osservarsi la differenza che passa fra i poli relativamente alla facilità di coprirsi di materia. In generale il polo positivo supera d'assai, a questo riguardo, il negativo, e tale differenza, già ragguardevole nelle preparazioni chimiche diviene, per così dire eccessiva, nelle produzioni organiche.

Ad ingrandire gli effetti del polo negativo giova in generale, oltre all'aumento della corrente, unire ai sali metallici qualche altro sale a base di natura alcalina.

Questi ultimi cimentati da se non lasciano traccia sulle lamine destinate a ricevere le loro basi, sia che queste svaniscono prima di arrivare al loro destino, sia che vi arrivino in veli così sottili che l'occhio non perviene a distinguerli. Associati ai sali di rame, la loro influenza si rende sensibilissima: le apparenze divengono non solo più estese, ma si fanno eziandio più variate

e brillanti. Le basi di natura alcalina, i nuovi metalli cioè, sono forse, per la corrente elettrica, di così facile trasporto da rendere più pronto l' arrivo delle altre basi colle quali par che si uniscano in un modo ora più ora meno permanente. Sembrano infatti trovarsi in quest' ultimo caso le varie repristinazioni che ottenute in compagnia dei sali di potassa, soda, e calce svaniscono appena formate, acquistando così quel carattere di fugacità che distingue i nuovi metalli.

Queste osservazioni confermate che siano da un maggior numero di esperimenti condurranno probabilmente a riconoscere nelle sostanze collocate alle due estremità della scala elettro-chimica una nuova proprietà, quella cioè d' essere *le più facilmente trasportabili* dalla corrente elettrica. Per l' estremità negativa abbiamo l' osservazione generale delle grandi apparenze, che si ottengono così facilmente al polo positivo; per l' estremità positiva abbiamo l' ingrandimento degli effetti ottenuti all' altro polo coll' ajuto de' sali aventi per base qualcuno de' nuovi metalli collocati come tutti sanno all' estremità positiva della scala elettrochimica. Se si arriva a stabilire questa nuova proprietà si dovrà probabilmente far capo ad essa per ispiegare molte particolarità della pila, fra cui noterò la direzione de' movimenti che nascono, in certe circostanze, dentro ad alcuni liquidi conduttori (1).

Sono così frequenti i casi in cui le sostanze elettro-positive, ed elettro-negative si attaccano visibilmente ai poli verso cui sono trasportate che sembra ragionevole di supporre che ve ne rimanga un qualche velo anche allorquando l' occhio non ne distingue alcuna traccia. Ora par quindi molto probabile che le polarità elettriche di cui danno segno le lamine di platino dopo aver servito all' uffizio di poli, siano dovute alla sola presenza di que' veli, nè forse da altra cagione dipende la carica delle pile secondarie di Ritter. Noterò poi in questa occasione ciò che osservarono De La Rive e Marianini intorno alla forza elettro-motrice che acquistano le lamine impiegate nei circuiti voltaici all' uffizio di poli. Essi videro che quella virtù era così inerente alla superficie delle lamine che non si distruggeva nemmeno col fregamento. Per ridurle subito allo stato naturale bisogna impiegare il calore. Ora quest' è appunto ciò che accade ad alcuni de' veli più sottili che si attaccano alle nostre lamine: il calore li dissipa facilmente, mentre resistono più o meno all' azione del fregamento.

Le poche sostanze animali e vegetabili che ho sin ora esperimentate, non mi hanno presentato de' fenomeni vistosi che al polo positivo. Non è per questo da trascurarsi lo studio dell' al-

(1) Sono noti i giri inversi che la corrente elettrica determina nell' acido solforico, e nella soluzione di carbonato di potassa quando in questi liquidi pesca un po' di mercurio. Si allude specialmente a questa specie di movimenti scoperti in prima da Erman, e studiati in seguito con molta cura da Herschel in Inghilterra, e da Orioli e Prandi in Italia.

tro polo: quivi pure si raccoglie sovente della materia capace di fornire ampio soggetto di ricerche per il chimico egualmente che per il fisiologo ed il botanico. Ignoro sin dove si potrà spingere l'analisi delle sostanze, che si depongono in una certa copia sul centro delle lamine: parmi peraltro che se ne possa in ogni caso accumulare quanto basta per un'analisi delicata. Ve ne ha poi più di quel che occorre per le osservazioni microscopiche.

Le apparenze che si ottengono al polo positivo dalla decomposizione delle sostanze animali e vegetabili sono in generale molto più belle e vivaci di quelle che sono prodotte dalle soluzioni chimiche. Sarà questa una nuova linea di demarcazione da tirare fra la natura organica e l'inorganica.

Le apparenze somministrate dalle sostanze organiche hanno sovente molta somiglianza quando si confrontano nella loro parte più vistosa, quale si è quella delle iridi che contornano la parte centrale. Quivi per altro si osservano certe deposizioni regolari che differiscono in ogni sostanza. Ne' vegetabili la deposizione centrale si presenta sotto l'aspetto d'un *occhio* differente per la grandezza e pei colori da un vegetabile all'altro. Bisognerà, io credo, cominciare dal rendersi familiare la vista di queste apparenze; indi classificarle a norma de' varii loro aspetti, per determinarsi in fine al partito di aggiugnere ai noti caratteri fisico-chimici delle sostanze anche il distintivo della loro *apparenza elettro-chimica*. Tale aggiunta converrà specialmente alla natura organica, dove l'analisi chimica ha fatto così pochi progressi.

La stagione non mi ha permesso di provare che uno scarso numero di succhi vegetabili. Dai pochi per altro che si sono sperimentati, risulta una differenza molto notabile fra i colori prodotti dai succhi delle foglie, e i colori prodotti dai succhi delle radici: questi ultimi riescono in generale languidissimi in confronto dei primi. Vedrò alla primavera ventura se questa sia una legge generale, o comune soltanto ad alcune specie di vegetabili. Frattanto la noto per norma dei fisici cui piacerà dedicarsi a questo genere di osservazioni.

I colori che si hanno al polo positivo dalle sostanze organiche sono in generale così belli e variati da render meno sorprendente l'immensa varietà che riscontriamo a questo riguardo ne' due più bei regni della natura. Se non una, due o tre specie al più d'elementi elettro-negativi introdotti in veli sottili fra il tessuto organico delle parti, possono bastare ad un uffizio di tanta importanza ed estensione. I colori del regno vegetabile e animale sono in generale più vivi e bizzarri nelle zone calde che nelle fredde. Il calore varia l'aspetto delle nostre apparenze elettro-chimiche, e ne ravviva sovente i colori in un modo che sorprende. Sarà questo un nuovo punto d'analogia non indegno forse di esser registrato nella parte filosofica della storia naturale.

Varie soluzioni chimiche offrono de' fenomeni rimarchevoli

tanto dal lato positivo, come dal negativo della pila. Per ottenere le due apparenze soglio quasi sempre servirmi di due lamine che sottopongo l' una dopo l'altra all' azione della pila, invertendo per il secondo caso la corrente impiegata nel primo. Questo metodo mi riesce, in generale, il più comodo e spedito. Può per altro giovare talora d' avere le due apparenze in una sola volta sulla stessa lamina. Mi servo allora della disposizione indicata dalla figura 3. AB è la laminetta destinata a ricevere le apparenze dei due poli: essa va collocata orizzontalmente dentro al vaso che ha da contenere la soluzione. P N, P' N' sono due pile di dodici o più elementi alla Wollaston colle quali comunicano l' estremità della lamina A B, e per modo che mentre una delle due estremità A comunica col polo positivo della prima pila, l' altra B comunichi col negativo della seconda. Finalmente N'*p*', P'*n*' sono due fili isolati sino alle punte, i quali comunicano cogli altri due poli, e discendono sino ad un piano pochissimo distante dalla lamina A B. Egli è dirimpetto alle punte *n*, *p* che si formano le due apparenze. Perchè questi due fenomeni non si disturbino l' un l' altro nella progressiva loro formazione, occorre lasciare un discreto intervallo fra le punte *n*, *p*. Questa disposizione che offre il mezzo di paragonare immediatamente i due resultati, presenta un altro vantaggio, ed è di studiare ciò che nasce nell' incontro degli elementi elettro-positivi cogli elettro-negativi: incontro che succede ogni qualvolta si avvicinano le punte *n*, *p* al segno che non lascino nella sottoposta lamina tanto spazio che basti allo sviluppo di ciascheduna apparenza. Secondo lo spirito della dottrina elettro-chimica non dovrebb' egli in allora aver luogo una qualche combinazione fra elementi posti, a quel che pare, in circostanze così favorevoli alla loro unione? Io non mi sono finora accorto d' alcuna combinazione: ho semplicemente osservato un effetto meccanico, quale si è quello dello schiacciarsi che fanno le due figure all' atto in cui i cerchi dell' una entrano nella regione dei cerchi dell' altra. Ho studiato poco questa specie di conflitto: la noto perchè si studii maggiormente, potendo essa condurre a qualche nuovo resultato (1).

Quando si è ottenuta l' apparenza che risponde all' azione d' un polo, si può se non in tutto, almeno in parte distruggerla coll' invertirvi sopra il corso della corrente. Sotto quest' inversione nascono talvolta de' nuovi colori, che cangiano il carattere della prima apparenza. I colori delle iridi p. e. che si ottengono sul platino positivo coll' acetato di piombo, svaniscono in parte sotto l' azione della corrente contraria, e in parte si conservano. Quelli che rimangono, acquistano una tinta verde che rende più delicata l' apparenza.

(1) Vedi su questo proposito le memorie che seguono.

Nei sali a base di rame questo metallo presenta sovente al polo negativo l'alternativa di cerchi di due colori rossi, l'uno più carico dell'altro. Notai già questa particolarità nel primo mio scritto; ora la ripeto per aggiugnere che quelle due tinte invece d'essere, come mi parvero da prima, dovute al rame ne' due stati d'ossido e di metallo puro, potrebbero dipendere da qualche strato d'altra materia elettro-positiva trasportata dalla corrente sui luoghi più carichi di colore. Questo per altro sia detto non già per il centro, dove l'ossido di rame si presenta quasi sempre distintissimo, ma per i circoli che vengono in seguito.

Ad ogni modo sussiste in generale una tale regolarità nell'ordine secondo cui le sostanze si dispongono sulle lamine destinate a riceverle, che si direbbe che l'elettricità ve le conduce attraverso d'un vaglio che le separa e dirige per tempo a dati punti della lamina (1). Ma quali sono precisamente i principj che occupano una data situazione? La questione è delicata, e di competenza più dei chimici che de' fisici: noi la dirigiamo particolarmente ai primi perchè se ne occupino in quel modo che merita.

È infine da notarsi la qualità del metallo che serve meglio d'ogni altro in questo genere di esperimenti. Eccettuati i pochi casi in cui l'oro e il platino sono impiegati con successo, l'argento può dirsi il solo che convenga allo sviluppo delle apparenze elettro-chimiche. Si comprende senza difficoltà come questi fenomeni abbiano da riuscire meglio sopra un metallo di difficile che sopra uno di facile ossidazione, ma per qual ragione il platino e l'oro, che sono i metalli meno ossidabili, non servono essi egualmente bene ed anche meglio dell'argento? La scala elettro-chimica offre in generale molte risorse, ma forse non si sa nel momento riscontrarvene alcuna pel caso particolare di cui si tratta.

(*Reggio* 4 *Gennaio* 1827.)

(1) Questo paragone farà sovvenire le figure di Leithenberg; ma non pare che vi sia relazione fra le due specie di fenomeni.

SOPRA LE APPARENZE

ED I MOVIMENTI

ELETTRO-CHIMICI DEL MERCURIO

Lo studio delle apparenze elettro-chimiche sul mercurio dà luogo ad alcune osservazioni, le quali tanto per se medesime quanto per la relazione che hanno con una classe di fenomeni già conosciuta, mi sembrano meritare l'attenzione dei fisici. Le andrò esponendo in quest'articolo dopo d'aver data un'idea del modo alquanto semplificato con cui soglio attualmente eseguire gli esperimenti relativi ad ogni sorta di apparenze elettro-chimiche.

La macchinetta che mi serve a tal uopo, consiste principalmente in due di que' piccoli congegni, che si adattano alle lucerne per alzare ed abbassare gli stoppini. Essi sono disposti verticalmente alla distanza di un pollice incirca ed isolati sul piede che li sostiene in modo da potervi collocare al disotto un piccolo vaso. Le aste dei due meccanismi sono inferiormente ridotte alla forma di morsettine dentro cui s'impegnano due grossi fili di platino affilati all'estremità. Quando occorre una maggiore o minore distanza fra i fili, questi si ripiegano convenevolmente prima di serrarli dentro alle morsettine.

Siano P, N (fig. 4.) i fili di cui si parla, ed AB la laminetta metallica destinata a ricevere le apparenze elettro-chimiche. Questa laminetta si colloca a dirittura nel vaso che ha da contenere la soluzione che si vuole decomporre. I recipienti di cui mi servo ordinariamente sono scodellini da caffè, dentro cui verso tanto liquido che ne sovrasti una o due linee alla laminetta AB. Supporrò sempre per maggiore chiarezza che all'atto dell'esperienza, la punta P comunichi col polo positivo della pila, e la punta N col negativo. I punti *n*, *p* segnano sulla lamina il luogo a cui corrispondano direttamente le punte P, N. L'apparenza negativa si forma d'intorno al punto *n*; la positiva d'intorno a *p*. Si ottengono amendue queste apparenze quando le punte P, N soprastano in modo alla lamina da non toccarla: se ne ha una soltanto, la negativa o positiva, secondo che la lamina è toccata dalla punta P, o dalla N. Una delle preparazioni chimiche che produce sul platino le due apparenze in un modo distinto, si è la mescolanza delle soluzioni dei due acetati di piombo e di rame. Gioverà fissare le idee sopra di siffatte apparenze prima di passare ai fenomeni che presenta il mercurio.

Suppongasi dunque di avere una laminetta AB di platino

dentro la mescolanza or ora indicata, e sia in primo luogo la punta N in contatto colla lamina.

Questa in allora appartiene tutta al polo negativo, ed essa riceve in faccia del punto P gli elementi elettro-positivi della soluzione, come sono il piombo, il rame, e fors'anche il carbonio dell'acido acetico. Questi principj si dispongono regolarmente in altrettanti cerchi concentrici d'intorno al punto *n*. I cerchi si formano a poco a poco, cominciando dal centro, e riescono di varie tinte più o meno brillanti, con una sfumatura generale tutt'all'intorno.

Sostituendo alla lamina sperimentata un' altra pulita e facendola invece toccare dalla punta P, tenendo sollevata l'altra N, la lamina spetta tutta in tal caso al polo positivo e riceve in faccia di N gli elementi elettro-negativi della soluzione, de'quali si copre in modo da presentare una serie di begli anelli prismatici sfumati tutti all'intorno.

Alzando amendue le punte P, N sopra una terza lamina pulita come le due prime, si ottengono contemporaneamente su di essa le due apparenze. Conservano queste i caratteri di prima ma differiscono nella grandezza e nella forma: *nella grandezza*, perchè riescono più piccole per l'evidente ragione che quando la lamina tocca una delle punte vi ha in giro una maggior copia di corrente; *nella forma* perchè quando le apparenze sono isolate riescono perfettamente tonde, e sono invece alquanto schiacciate dalla parte interna quando trovansi in compagnia. Studieremo in un articolo a parte il motivo di questo schiacciamento, ma qui non occorre saper altro se non che rimane fra le due apparenze un intervallo così netto e lucente, che quivi niun velo benchè minimo ricuopre la lamina. I contorni sono da questa parte talmente decisi e taglienti che mancano affatto di quelle sfumature che circondano le apparenze dal lato esteriore.

Quando si esperimentano separatamente i due acetati di piombo e di rame, si hanno dei fenomeni analoghi; ma in questi casi una delle due apparenze supera di molto l'altra in estensione, e vivacità.

Coll'acetato di piombo l'apparenza positiva è molto estesa, e composta di begli anelli colorati che aderiscono tenacemente alla lamina, mentre l'apparenza negativa consiste in uno strato assai raro di particelle di piombo che non hanno aderenza colla lamina e si levano via colla semplice fregagione di un dito.

Succede il contrario coll'acetato di rame: in questo caso l'apparenza più cospicua e più aderente alla lamina è la negativa.

Non si può a questo riguardo fissare alcuna regola generale: or una delle due apparenze è la più distinta, or l'altra; ora ne manca una, ora mancano tutt'e due, secondo le relazioni di affinità, che passano fra gli elementi elettro-positivi ed elettro-negativi delle soluzioni e la lamina destinata a riceverli. Nei

casi in cui si forma una sola delle due apparenze, questa risulta schiacciata come se vi fosse anche l'altra: il che prova chiaramente che per le due specie d'elementi elettro-positivi ed elettro-negativi è riservato sulla lamina uno spazio distinto. L'attaccarsi o non attaccarsi di una delle due specie d'elementi alla lamina è per conseguenza una circostanza indifferente allo sviluppo dell'apparenza che compete all'altra specie.

Prima di avere ottenuto queste apparenze colle punte P, N distaccate dalla lamina, si poteva dubitare se nel caso di quel totale distacco passasse per la lamina una dose d'elettricità sufficiente a produrre dei fenomeni ben distinti. Ora non è più permesso di promovere un tal dubbio. I poli *primitivi* P, N formano in *n*, *p* due poli *secondari* abbastanza energici per decomporre le soluzioni in modo da vestirsi di veli distintissimi.

È fatto costante che sintanto che si ricevono que' veli sopra superficie appartenenti a metalli solidi non si osserva mai nelle soluzioni alcuna sorta di movimento. I movimenti cominciano a manifestarsi quando si opera sul mercurio. Questo metallo riceve senza dubbio, come i metalli solidi, gli strati onde si formano le apparenze elettro-chimiche, ma la mobilità della sua superficie non sembra tale certamente da permettere che quegli strati vi si fissino al di sopra in un modo così stabile, come fanno al disopra di piani immobili. Ora questa circostanza sarebbe essa mai l'unica cagione de' movimenti che si sono fin ora osservati da Erman, Herschel, Orioli, Prandi ec.? Le seguenti osservazioni basteranno forse a sciogliere una questione così importante. Comincieremo dall'esaminare gli effetti che nascono sul mercurio *puro*, indi passeremo a quelli delle *amalgame*.

Mercurio puro.

Suppongasi di avere, nel posto della laminetta AB, uno strato di mercurio ben pulito di due a tre pollici di diametro, e sia una soluzione di solfato di soda il liquido che gli sovrasta. Le punte P, N peschino in questo liquido per due linee circa, e siano amendue alquanto sollevate al disopra della superficie del mercurio. Apparecchiato in tal modo l'esperimento, si pongano le punte P", N in comunicazione con una pila di forza moderata (1), e si vedrà subito determinarsi d'intorno ai punti *n*, *p* due sistemi di correnti raggianti. Distingueremo questi sistemi col nome delle regioni che occupano sul mercurio; diremo cioè *negative* le correnti che partono da *n*, *positive* le altre che partono da *p* (2). Guardando obli-

(1) Quella per esempio di dodici elementi alla Wollaston di 4 pollici di superficie eccitati al solito con un sessantesimo d'acido solforico e d'acido nitrico.

(2) Queste denominazioni sono inverse di quelle adottate da Herschel. Egli denomina le correnti dai poli *primitivi* P N; io invece dai *secondarj* dov' è la sede del fenomeno. (Vedi la memoria di Herschel inserita *dans les annales de chimie et physique* Tom. 28 pag. 290). Avremo motivo di citare più volte questo bel lavoro.

quamente il mercurio si distinguono su di esso i limiti che corrispondono al contorno delle ordinarie apparenze elettro-chimiche. Questi limiti consistono in due linee, o spigoli ovali $n''n'n''$, $p'p'p''$, (fig. 5.) dentro cui il mercurio è d'un tantino più depresso che al di fuori. Tali spigoli sono più vivi al di dentro in p' p', e n' n', che al difuori in p'', n'' conforme all' osservazione che ci ha insegnato essere i contorni delle apparenze elettro-chimiche più decisi dalla parte interna che dall' esteriore. Nel mezzo oo il mercurio presenta una o due linee d'increspamenti quali si convengono all' incontro di due opposte correnti. Questa circostanza congiunta ad altre notate da Herschel nella sua bella memoria provano ad evidenza che la sede del movimento è alla superficie del mercurio. Il liquido soprastante è puramente passivo in questa circostanza: non fa altro che seguire il movimento impresso alle particelle del mercurio. È raro che le correnti raggianti dai centri n', p' siano d' egual forza: in generale le correnti positive che partono da p, sono più gagliarde delle opposte, o se nol sono sul principio dell'osservazione lo divengono ben presto. Si forma quasi sempre in p un poco d' ossido che dalla corrente è trasportato al di fuori del contorno $p'p'p''$, dove si addensa più o meno Quello che è spinto al di là di $p'p'$ si diffonde più o meno celeremente verso il lato negativo che lo assorbe e lo riduce, tosto che le correnti di questa parte sono indebolite al segno da non impedirne più l' espansione. L'ovale $n'n'n''$ si comporta come l'irraggiamento: si stringe e svanisce con esso.

Non si riesce a fissare tutte queste particolarità in un solo esperimento, bisogna assicurarsene in più volte, badando principalmente ai limiti $p'p'p''$, $n'n'n''$ che sfuggono facilmente all' occhio senza una particolare attenzione.

La scomparsa delle correnti negative insieme con l' ovale $n'n'n''$, deriva immediatamente dai veli d'ossido che le correnti positive spingono verso di n'. Basta infatti impedire l'espansione di que' veli (con una lastrina, per esempio, di vetro abbassata in oo sulla superficie del mercurio) per veder crescere l'ossidazione in p' e mantenersi in vigore le correnti negative. Il frapposto impedimento fa sì che l' ossidazione in $p'p'p''$, acquisti presto una tale consistenza da soffocare le correnti positive; ma sollevando la tramezza pria che l' ossidazione sia molto inoltrata, la pellicola d'ossido si rompe in più pezzi; gli interni de'quali si spandono dal lato negativo dove sono assorbiti e ridotti come prima. Si vanno frattanto rianimando le correnti positive ed estinguendo le negative.

Questi accidenti ottenuti con le punte p'',n'(fig. 1)al disopra dello strato di mercurio non sono particolari a questa disposizione. Si hanno de' fenomeni analoghi col togliere le punte dalla parte superiore del mercurio ed immergerle nella soluzione in faccia a

due punti opposti di quello strato metallico; e questo è stato fin ora il modo ordinario d'esperimentare: noi non abbiamo seguita l'altra disposizione della figura quarta che per rendere più evidente la relazione che passa fra i nuovi fatti delle apparenze chimiche ed i movimenti di cui ci occupiamo attualmente.

Abbiamo scelto nella soluzione del solfato di soda un liquido in cui si manifestano facilmente i due sistemi di correnti raggianti d'intorno ai punti centrali *p*, *n*. Tali raggiamenti si determinano in molte altre soluzioni, ma in altre mancano più o meno secondo la diversa loro natura. Arriviamo con poca pena a comprendere la cagione di queste differenze pensando che sotto qualunque liquido il mercurio riceve bensì sopra i suoi due poli secondari gli elementi elettro-positivi ed elettro-negativi del liquido, ma che siffatti elementi ora sono tali da coprire il mercurio di veli più o meno consistenti, ora tali invece da non ingombrarlo menomamente. Abbiamo già veduto nell'esempio del solfato di soda che quando il mercurio si ossida nella regione positiva, mancano quivi le correnti corrispondenti. Ora è da sapersi che succede altrettanto in tutti que'casi ove l'una o l'altra specie d'elementi cuopre il mercurio di strati d'una certa spessezza e tenacità.

Nelle soluzioni p. e. de' varj sali a base di rame, d'argento, di stagno, di bismuto, di piombo, d'antimonio, di zinco ec.... queste basi si repristinano sul polo negativo del mercurio in modo da presentarsi all'occhio in forma di strati più o meno consistenti: mancano in allora le correnti negative; tutt'al più hanno luogo alcuni deboli scorrimenti alla superficie del mercurio, manifestati dai cangiamenti di figura che soffre la massa nei luoghi dov'essa riceve i veli elettro-positivi. Al contrario le correnti negative, frenato l'ossido sopra il proprio polo, sono sempre vivissime quando il mercurio è sotto soluzioni alcaline: ma i metalli degli alcali e delle terre non ingombrano di veli il polo che li chiama a se; lasciano questa parte del mercurio così fluida e brillante come se non ci comparissero.

Si deve dire altrettanto delle correnti positive le quali mancano ogni qualvolta gli elementi elettro-negativi delle soluzioni, ossigeno ed acidi, si distendono in veli sulla superficie del mercurio Sotto i liquidi animali e vegetabili il mercurio si cuopre sempre di siffatti veli dal lato positivo, e quivi per appunto non si osserva mai un movimento che possa meritare il nome di corrente. Si hanno invece, sotto gli stessi liquidi, delle correnti sensibili dal lato negativo, ma da questa parte il mercurio si conserva brillante come sotto alle soluzioni alcaline.

Dal complesso di queste osservazioni pare che si possa stabilire una proposizione generale, ed è che le correnti non si formano che laddove mancano i veli delle apparenze elettro-chimiche. In questi casi il mercurio conserva tutta la sua mobilità, nè sopra

la di lui superficie si scopre, delle apparenze elettro-chimiche, altro segno visibile se non che i limiti o spigoli ovali $n' n' n''$, $p' p' p''$, dentro cui vengono dalla corrente elettrica sospinti gli elementi elettro-positivi ed elettro-negativi delle diverse soluzioni. E dico *sospinti* in grazia della depressione più o meno notabile che il mercurio soffre in que' luoghi (1). Questo metallo non cederebbe diversamente se gli elementi che esso riceve dentro que' due contorni $n'n'n''$, $p'p'p''$ vi fossero spinti contro dalle punte P,N (fig. 4.) a guisa di un soffio o di un' emanazione dotata di una certa velocità. Senza imbarazzarci se quella spinta, sia la conseguenza di un trasporto reale d'elementi da un polo all'altro, operato come pare probabile, dalla corrente elettrica, conteremo sull'esistenza di quella forza e decomposta nelle due direzioni orizzontale, e verticale, come attribuiremo all'azione delle componenti verticali la depressione del mercurio dentro i limiti $n' n' n''$, $p' p' p''$, così all'azione delle componenti orizzontali ascriveremo l'irraggiarsi dello stesso mercurio d'intorno ai punti centrali p, n (fig. 5). La coesione esistente fra le molecole de' metalli solidi distrugge l'uno e l'altro effetto: di qui chiaro apparisce come la formazione delle correnti sia indispensabilmente legata alla condizione della fluidità del metallo introdotto sotto ai conduttori umidi; e come le correnti manchino sullo stesso mercurio quando si copre di veli che gli tolgono la mobilità.

Le soluzioni sovrastanti al mercurio non fanno che eseguire il movimento che concepiscono le parti già collocate alla superficie di quel metallo. Bisogna per altro, rispetto alla velocità de' movimenti, tener conto del grado di scorrevolezza che posseggono i diversi liquidi sul mercurio: i più scorrevoli resistono di meno, e danno luogo, *caeteris paribus* alle correnti più veloci, i meno scorrevoli resistono di più, e rallentano in proporzione il movimento. Vi ha un liquido il quale possiede in un grado eminente la proprietà di cui si tratta; è questo l'acido solforico le cui goccie come tutti sanno si spandono sul mercurio con una rapidità straordinaria. Giova rammentare questa circostanza per riflettere che le correnti le quali si determinano sul mercurio immerso in quell'acido, sono le più rapide che si conoscano, e così facili da ottenere che basta all'uopo la forza de' più deboli elettro-motori. Le correnti che nascono in questo caso sono le positive, ma facendo l'esperimento con la solita disposizione non si vede d'intorno a p (fig. 5.) alcuna traccia dell'ovale $p'p'p''$: questa mancanza prova in altro modo quanto l'acido solforico

(1) All'atto stesso in cui si compiono i circuiti voltaici le depressioni sotto ai poli primitivi sono molto più sensibili che nol divengono in seguito; ma in que' primi momenti le pozzette occupano uno spazio più ristretto. Si spianano a poco a poco a misura che si allargano a modo delle apparenze elettro-chimiche.

vada, per la sua scorrevolezza, distinto dagli altri liquidi, i quali col cedere molto meno facilmente all'azione delle componenti orizzontali danno sempre tempo alle verticali di produrre un infossamento sensibile sul mercurio. In $n''n'n'$, sotto la punta positiva, si forma una pozzetta notabile che si copre d'uno strato di bollicine d'idrogeno. Quest'apparenza è dalla velocità delle correnti positive trasportata verso B.

Le particelle del mercurio non possono, al pari di quelle di qualunque altro liquido, scorrere in una data direzione alla superficie della massa senza ricomporre l'equilibrio tornando indietro per la via interna. Le correnti interne producono diversi cangiamenti di figura che consistono per lo più in allungamenti verso i poli primitivi di cui non parleremo nel presente articolo, perchè tali particolarità sono state diligentemente osservate da Herschel, e dallo stesso spiegate nel modo il più soddisfacente deducendole naturalmente dall'esistenza delle correnti interne.

Non crediamo per altro che questo principio abbia alcuna parte nelle convulsioni o palpitazioni che soffre il mercurio in date circostanze. La palpitazione più semplice si è quella che scopersi tre anni sono, poco dopo che lo stesso Herschel ebbe la compiacenza di comunicarmi, in Modena, alcuni risultati delle sue esperienze.

Immergo una goccia di mercurio dentro un piccolo bagno d'acido solforico, e poi la tocco nell'orlo coll'estremità di un filo di ferro. In questo contatto la goccia si contrae visibilmente: ottenuta la contrazione, ritiro un tantino la punta di ferro dall'orlo toccato: cessa nel distacco la causa della contrazione, e la goccia riprende la sua naturale figura distendendosi. Ma nel distendersi essa arriva a toccare la punta di ferro e si contrae di nuovo per distendersi il momento dopo, e così continuare lo stesso gioco, sinchè l'ossidazione del ferro non è giunta al segno da distruggere l'azione voltaica dei tre elementi *mercurio*, *ferro* ed *acido*.

Non si ha la palpitazione che col sostituire al ferro altri metalli facilmente ossidabili; i contatti dell'oro e del platino non producono effetto (1) o non vi è in allora corrente elettrica in giro, o se vi è, è troppo debole per esercitare un'influenza sensibile. Basta quest'osservazione per iscoprire la natura elettro-chimica del fenomeno.

Ma qual'è alla fine il motivo della primitiva contrazione della goccia, da cui dipende tutto il resto del gioco? Sappiamo che la goccia riceve sopra di se gli elementi elettro-positivi dell'acido e che nel riceverli soffre una compressione proporzionale

(1) Queste osservazioni furono pubblicate nel 1824 in una notizia inserita nel bollettino scientifico dell'Antologia di Firenze Tom. 4. pag. 156.

alla forza con cui quegli elementi arrivano al loro destino. Ora egli è all'esercizio di questa forza che ascriviamo la contrazione della goccia, persuasi che la spiegazione sia così la più naturale e tale pur anche da crescere di valore se si rifletta che nel caso di cui si tratta o non vi ha alla superficie del mercurio alcun movimento, o se ve ne ha qualche poco la sua tendenza è tale da deprimere anzi che gonfiare la goccia (1).

Le più forti calamite nella massima vicinanza del mercurio elettrizzato non esercitano alcuna azione sopra le correnti che si manifestano in esso. Questa nullità d'azione rende sempre più evidente l'origine meccanica de'movimenti che abbiamo sin ora esaminati sul mercurio puro. La stessa riflessione varrà per le amalgame, se le correnti che osserveremo su queste leghe, non saranno d'una natura differente.

Amalgame.

Ripigliamo l'esperimento del solfato di soda nel momento in cui le correnti positive, avendo un deciso sopravvento sulle ne-

(1) Per ingrandire il fenomeno della palpitazione ed ottenerlo per lungo tempo e nel modo il più regolare bisogna operare come segue; ma in allora il mercurio invece di contrarsi come fa nell'esempio della goccia toccata col ferro, soffre uno schiacciamento in grazia de'movimenti interni i quali, facendosi dal centro alla periferia, tendono a diminuire la curvatura del suo orlo.

Si fa l'esperienza sopra una massa discreta di mercurio, d'un pollice p. e. di diametro, coperta da una soluzione alcalina ben limpida. Si ha cura che quel mercurio prenda la giusta forma circolare scegliendo per tal motivo uno scodellino bene conformato nel suo fondo. Si dispone questo vaso in modo che la punta N (fig. 4.) corrisponda direttamente al centro del mercurio, e sia un poco sollevata sovra di esso, mentre l'altra punta P pesca nella soluzione al di fuori dell'orlo del mercurio alla distanza di quattro o cinque linee: si compiono le solite comunicazioni colla pila, e chiuso il circuito si abbassa la punta N al segno che tocchi appena la superficie del mercurio. Al momento del contatto il mercurio si schiaccia notabilmente e comincia a palpitare distaccandosi dalla punta nell'atto dello schiacciamento, e ritoccandola quindi tornando alla primitiva sua gonfiezza. I primi movimenti sono alquanto tumultuosi ed irregolari, ma divengono presto uniformi e simmetrici, e tali ordinariamente che la goccia, in uno de'suoi movimenti alternativi, quello di schiacciamento, si presenta sotto l'aspetto di una stella a quattro punte smussate una delle quali è sempre diretta al filo positivo P. Nell'altro movimento alternativo si ricompone una nuova stella della medesima forma della prima, ma che ha i suoi saglienti dove l'altra aveva i suoi rientranti. I due moti si succedono quasi sempre con tale rapidità che l'occhio vede le due stelle a un tempo solo, giudicando che sia una sola ad otto punte. Girandovi all'intorno il filo positivo P, sembra che giri anche la stella, ma questa è una pura illusione dipendente dalla sollecitudine colla quale il polo primitivo P determina dinanzi a se un nuovo sagliente ad ogni suo spostamento.

Separando dalla massa palpitante, col mezzo d'un arco di filo di ferro, de' piccoli globetti di mercurio, questi si veggono saltellare qua e là in guisa da rendere graziosissimo il fenomeno imitando in certo modo il noto gioco delle palle gettate in aria da una mano esercitata.

gative, trasportano la soluzione da *p* verso *n*. Le punte N, P sono sempre un poco sollevate al disopra del mercurio. Abbassiamo adesso la punta N, ed immergiamola dentro a questo metallo col quale essa s'amalgama facilmente. Si rianimano subito le correnti negative, sotto la spinta degli elementi elettropositivi della soluzione, il sodio. Questo principio s'unisce al mercurio e lo costituisce in stato d'amalgama (1). Il contatto d'un minuto basta a caricare il mercurio di tanto sodio, quanto occorre per produrre i seguenti effetti.

Non più, all'atto in cui si trae fuori dal mercurio la punta N, si presentano le correnti positive d'intorno a *p*. Si osserva anzi tutto il contrario, vale a dire un sistema di correnti rapidissime, che da quasi tutti i punti della circonferenza del mercurio si rendono verso il centro *p* (fig 6). Queste correnti non sono eguali in velocità; quelle che vengono dalla parte di *n* sono visibilmente le più veloci. In *p'p'p''* si osserva un infossamento o pozzetta di forma ovale circondata in *p'p'* da un orlo alquanto rilevato ed ondeggiante: il mercurio presenta là dentro una prominenza più o meno irregolare in forma di lingua o di cresta, dovuta evidentemente allo scontro che succede in quel luogo, delle correnti che vi giungono da tutte le parti con impeti disuguali. La pozzetta *p'p'p''* non è d'intorno al punto *p* come l'ovale della figura quinta; è notabilmente spostata verso di A in grazia dell'eccesso di velocità che posseggono le correnti del lato opposto. Quest'eccesso può esser tale da trasportare tutto l'infossamento al di là del punto centrale *p*. Se il mercurio ha qualche impurità, questa si raccoglie subito dentro la pozzetta *p'p'p''* dove s'aggira ordinariamente a guisa d'un vortice. Se il mercurio è pulitissimo, la pozzetta resta brillante per un certo tempo. Essa ha in ogni caso dinanzi a se una linea o spigolo più o meno vivo *mmm*, il quale s'avanza a misura che cala il movimento verso di *n*, e si converte in fine nell'ovale punteggiata d'intorno a quest'ultimo punto.

La più importante delle particolarità or ora descritte non isfuggì alla penetrazione di Herschel; essa consiste nell'inversione del movimento sul luogo delle correnti positive. Un tale rovesciamento è senza dubbio dovuto alla presenza del sodio come dimostrano gli esperimenti di confronto istituiti dal fisico inglese; ma come mai in grazia di quel principio nasce egli un effetto in apparenza così singolare?

(1) La presenza del sodio è stata verificata in più modi dal Sig. Herschel: io aggiungerò il seguente. Dopo che si è tenuta per un poco di tempo la punta N in contatto col mercurio, s'inverta sollecitamente la corrente senza cangiar altro alla disposizione dell'apparecchio. In quest'inversione il mercurio di negativo che era, diventa positivo, e si copre di una zona più o meno grande di colore ranciato. È questo il colore del sodio nel suo primo grado d'ossidazione: ossidando il mercurio prima d'averlo amalgamato col sodio si ha tutt'altra apparenza.

L'infossamento $p'p'p''$ prova che questo è adesso il luogo colpito dagli elementi elettro-negativi della soluzione fra cui campeggia l'ossigeno. Il sodio avidissimo d'unirsi a questo principio corre rapidamente da tutti i lati al sito dove lo ritrova *allo stato nascente*, e così determina quel sistema velocissimo di correnti, dalla circonferenza al centro, che è direttamente opposto all'irraggiamento che ha luogo quando il mercurio, privo di quel metallo eminentemente ossidabile, non ha altro da fare che propagare dal centro alla circonferenza la spinta che esso riceve dagli elementi elettro-negativi (fig. 5) (1).

(1) *Le sodium n'exerce sensiblement d'action à froid sur le gaz oxigène ni sur l'air atmospherique bien secs*... (Thenard Tom. 1. pag. 232) Ad onta di questo dopo di avere accordato alla condizione dell'ossigeno allo stato nascente, tutto il peso che mi sembrava convenirle, era curioso di vedere l'effetto di una corrente di gas ossigeno diretta sul centro di un'amalgama di sodio posta nelle stesse identiche circostanze nelle quali essa si trova quando fa parte del circuito voltaico nel modo indicato. Preparai quindi, come prima, l'amalgama di sodio col tenere per un po' di tempo il mercurio a contatto della punta negativa; e poi sottratto il vaso dall'influenza elettrica, diressi col mezzo di un tubo a chiave, convenientemente adattato ad una vescica piena di gas ossigeno, una corrente, o getto di questo gas sul centro di quell'amalgama. Ebbi cura che un tale getto traversasse, della soluzione sovrastante, il meno possibile per diminuire il gorgogliamento: ciò che rimase di quest'affetto non impedì di fare l'osservazione che interessava. Vidi con compiacenza determinarsi, sopra il mercurio, le correnti della circonferenza al centro.

In questo esperimento il gas ossigeno non può certamente conservarsi perfettamente asciutto; inoltre esso sviluppa del calorico nel comprimersi contro lo stato di mercurio, e si rinnova continuamente sul luogo dov'è diretto. Queste circostanze sono probabilmente le tre sole per cui si determina l'azione del sodio sul gas ossigeno. Ma quand'anche andassero congiunte a qualche altra condizione, come sarebbe p. e. la fluidità dell'amalgama, non basterebbero esse a dare un'idea del sommo vantaggio col quale debbe agire l'ossigeno nascente sulla pozzetta $p'p'p''$ (fig. 5)?

Feci la prova del getto di gas ossigeno nel laboratorio chimico dell'esimio Sig. Prof. Merosi il quale si compiace sovente di meco dividere le cure de'miei tentativi. L'esperimento fu ripetuto due volte collo stesso successo: l'amalgama per altro del secondo esperimento presentò un accidente che rese più evidente l'effetto. Essa aveva da un lato sul suo orlo una pellicola d'ossido la quale s'andava coprendo di bolle di idrogeno e determinava da se sola un sistema di correnti che si dirigevano visibilmente ad essa.

Quando il getto di gas ossigeno colpiva il centro dell'amalgama le correnti che andavano alla pellicola, cangiavano direzione e tutte si riunivano nel centro.

Ci sembra poi anche chiarissimo il motivo per cui il velo d'ossido basta da se solo a mantenere sull'amalgama un movimento regolare diretto verso di se. Herschel aveva già osservato che quando si tocca l'amalgama di sodio con un filo metallico qualunque, questo filo sviluppa in tutte le parti che pescano nella soluzione una quantità abbondante d'idrogeno, e che il mercurio all'istante si precipita da tutti i lati verso il filo come, se volesse liberarsi in tal modo del suo sodio. Il filo, il sodio e il liquido formano una combinazione voltaica e come l'idrogeno dell'acqua si sviluppa sul filo, così l'ossigeno si sviluppa sul sodio, ma non già in eguale abbondanza da per tutto. Le parti di sodio più vicine al filo, compiono nel liquido de'circuiti più angusti che le parti più lontane. E come si sa di certo che i circuiti più stretti sono anche i più attivi: così non potrà dubitarsi che

Mentre il sodio del mercurio corre da tutti i lati a convertirsi in alcali alla fonte dell'ossigeno nascente, lo stesso mercurio riceve sul suo polo negativo dell'altro sodio che produce le solite correnti negative nn', nn'', nn'', ma siccome queste correnti si determinano sopra una superficie, che corre quasi tutta, per il sodio preesistente, all'infossamento $p'p'p''$, così il limite ordinario dell' apparenza negativa si deforma e si allunga al segno di trovarsi trasportato, dal lato interno, sino in *mmm*. Egli è in virtù di questo trasporto, che l' altra depressione $p'p'p''$ piega così notabilmente verso di A.

Questa poi si rileva e si mette in centro a misura che il movimento cala colle perdite che fa l'amalgama del suo sodio. Essa lo ha già tutto, o quasi tutto perduto quando sta per ricomparire l'ovale d'intorno ad *n*. Questo segnale non falla: esso indica che l' ossigeno dell' apparenza positiva non ha più sodio da ossidare: attacca il mercurio e lo copre di un velo che estingue ben presto tutti i movimenti (1).

I movimenti di consenso che concepisce la soluzione al di sopra del mercurio, sono talvolta così rapidi ed irregolari che confondono l'occhio dell'osservatore. Per assicurarsi del vero stato delle cose non bisogna limitarsi ad un solo esperimento; bisogna anzi ripeterlo più volte ed anche variarlo rispetto alla forza della corrente ed alla disposizione delle punte *P*, *N*. Consiglierò per questo caso specialmente a trasportare la punta N (fig. 1.) sul mezzo dello strato di mercurio, e l'altra P al di fuori del suo orlo circolare. Così il sistema delle correnti centrali dovuto alla conversione del sodio in alcali, non che la forma della pozzetta $p'p'p''$ divengono più distinti e regolari, e permettono meglio all' osservatore di tener dietro alle principali circostanze che accompagnano il fenomeno or ora analizzato.

Esperimentando sopra grandi masse di mercurio, e con correnti di una certa energia, la conversione del sodio in alcali diventa così abbondante da intorbidare ben presto la soluzione.

presso al filo abbia luogo il maggiore sviluppo d'ossigeno: correrà dunque il sodio da questo lato come corre alla pozzetta $p'p'p''$ della fig. 6. Le pellicole d' ossido agiscono poi allo stesso modo del filo, ma meno energicamente in grazia della loro forza eletto-motrice più debole: si svolge in fatti sopra di loro meno idrogeno, e le correnti superficiali che vanno ad esse sono più lente. La riduzione quindi dell' amalgama si fa prestissimo col contatto del filo; coll' ossido dura di più.

(1) Si esige minor tempo, *caeteris paribus*, a combinare una certa dose di sodio col mercurio di quel che a separargliela. Ho fatto a questo riguardo due esperimenti di confronto ed ho trovato che l'amalgama dovuta al contatto di 60 secondi ha perduto una volta tutto il suo sodio in 445 secondi e la seconda in 400.

Due motivi concorrono ad aumentare questo tempo: l'uno dipende dall'elettricità trasmessa in minor copia nel caso della riduzione che nell' altro dalla formazione dell' amalgama; l' altro dalle nuove dosi di sodio che nel tempo della riduzione s' aggiungono alle preesistenti.

Dopo questi schiarimenti relativi alla lega di sodio e di mercurio ci crediamo dispensati dal far parola delle altre amalgame. Tutto dipende dal grado di ossidabilità che possiede il metallo combinato col mercurio. Herschel segnalò già questa relazione quando disse che la proprietà d'invertire il corso ordinario delle correnti positive era *in un rapporto evidente con l' energie elettro-positive* de' metalli amalgamati al mercurio (1). Restava a vedere donde procedesse una tale proprietà, ma ora ci sembra che i nuovi fatti delle apparenze elettro-chimiche abbiano somministrato il mezzo di sciogliere completamente la questione (2).

Chiuderò l'articolo col riferire un risultato che ottenni da un esperimento istituito per pura curiosità, più che per altro motivo. Avviluppai con un po' di cura una goccia di mercurio dentro ad una foglia finissima d'oro. Versai sulla goccia così vestita una soluzione alcalina, e poi compii il circuito voltaico dopo d'aver posta la punta negativa dentro la goccia e l'altra fuori. Osservai subito, non senza qualche sorpresa, che l'inviluppo della foglia d'oro era in un attimo assorbito dal mercurio, e che subito dopo si determinavano al solito le correnti negative. Alla vista inaspettata di questo assorbimento pensai che se l'influenza del polo negativo era tale da aiutare in un modo così rapido l'amalgamazione dell'oro col mercurio, poteva darsi che l'influenza del polo positivo producesse l'effetto contrario, la separazione cioè dell'oro dal mercurio.

Per verificare la conghiettura invertii sull'amalgama la direzione della corrente, ma non ottenni su di essa che le consuete apparenze.

Le foglie d'argento avviluppate d'intorno alle goccie di mercurio offrono lo stesso fenomeno del rapido assorbimento.

Il metallo alcalino non esercita probabilmente in questa circostanza altro ufizio che quello di strascinare con sè gl'inviluppi che gli coprono per un momento la superficie del mercurio. Sarà questa in allora una novella prova della forza non indifferente colla quale gli elementi delle apparenze elettro-chimiche colpiscono i respettivi poli. Ad ogni modo la depressione che il mercurio soffre sotto le punte de'poli primitivi, è un fatto che dimostra l'esistenza di quella forza. Io finisco col fermare l'atten-

(1) Memoria citata pag. 304.

(2) Il Sig. Prandi nella sua seconda memoria *Sui movimenti del mercurio* parte anch'egli dal principio dei due poli secondari, ma oltrechè quel principio non era in allora abbastanza dimostrato, il modo con cui egli lo applica è totalmente diverso da quello che suggeriscono i nuovi fatti. Io mi credo per tal motivo dispensato dal dovere d'analizzare quel lavoro, che onora d'altronde il suo autore pel buon numero di osservazioni che contiene. (Bologna 1826 dalla Stamperia Cardinali e Fucelli.)

zione dei fisici su questo risultato, perchè parmi che abbia da servire a fissare le nostre idee sul vero meccanismo della pila. Avrò presto occasione di ritornare sopra un così interessante argomento.

(*Reggio* 8 *Giugno* 1827.)

SULLE

APPARENZE ELETTRICHE

DI PRIESTLEY

Priestley nell'osservare gli effetti delle scariche elettriche s'accorse che queste scariche nel passare più e più volte da una punta ad una lamina di metallo, producevano su quest'ultima diversi anelli colorati. Questo fatto poteva di prima giunta sembrare analogo a qualcuna delle apparenze che io ottenni con la pila; e non fu quindi senza ragione che i celebri estensori *des Annales de Chimie et de Physique* lo richiamarono alla memoria all'occasione del primo mio lavoro sull'apparenze elettro-chimiche (1).

È bensì vero che basta riflettere a due circostanze per convincersi che le due specie d'apparenze differiscono essenzialmente fra loro. Le apparenze ottenute da Priestley coll'elettricità ordinaria sono le medesime dai due lati positivo, e negativo: quelle invece che si hanno dalla pila sono diversissime. Queste ultime sono evidentemente prodotte da due cause diverse, dagli elementi cioè elettro-positivi, ed elettro-negativi del liquido interposto, che si separano sotto l'azione della corrente voltaica, e vanno così separati a coprire di veli più o meno sottili le lamine destinate a riceverli. Al contrario non si ha nel caso delle apparenze di Priestley alcun liquido interposto fra la punta e la lamina, e la colorazione dipende da una cagione che agisce ugualmente dalle due parti positiva, e negativa della scarica. Ad onta per altro d'una differenza così essenziale fra le due specie d'apparenze io era in debito di ripetere l'esperimento del fisico inglese e di studiarlo nuovamente se non altro per vedere di schiarire la natura del fenomeno. Replicai di fatti l'esperienza il più presto che mi fu possibile sopra quattro sorta di lamine: alcune erano di rame, altre d'acciaio, d'argento, e di platino. Ogni lamina fu esposta all'azione d'una trentina di scariche: la distanza fra la punta, e la lamina si tenne di mezza linea circa. La batteria consisteva in otto gran vasi che presentavano in tutto un'armatura di circa 14 piedi quadrati, e la tensione della carica misurata da un quadrante di Henly si spingeva ogni volta allo stesso grado dai 15 ai 20. Ogni lamina si colorò dinanzi alla

(1) Vedi in fine la *Nota* a cui si allude in questo luogo, e che interessa troppo il nuovo soggetto delle apparenze elettro-chimiche per non omettèrla nella presente edizione.

punta negativa, o positiva che fosse, per uno spazio circolare di due o tre linee circa di diametro. Il centro era alquanto incavato, e tutto punteggiato, o granelloso in guisa che ben si vedeva aver la materia subìto ivi un principio di fusione. Gli anelli colorati circondavano la piccola cavità centrale, ma non erano ben distinti e d'aspetto prismatico che sul rame. Sull'argento, e sul platino avevano delle tinte languidissime. Sull'acciaio i colori erano più vivi ma non in modo da paragonarsi a quelli del rame. Io conservo siffatte apparenze da tre mesi, nè mi pare che abbiano in quest'intervallo sofferta alcuna alterazione. Priestley dice d'avere ottenuto più ordini di anelli colorati; io non ne ho mai ottenuto che uno solo sebbene abbia talvolta moltiplicate le scariche sino al numero di quaranta. Forse la mia batteria di 14 piedi d'armatura era troppo piccola per quest'effetto: quella di Priestley aveva 22 piedi di superficie.

Sapendosi che fra i metalli che si colorano nel raffreddarsi, dopo d'essere stati esposti all'azione d'un forte calore, il rame e l'acciaio sono appunto fra quelli i quali presentano le più belle gradazioni di tinte, è ben naturale di supporre che tale pure sia l'origine dei colori osservati da Priestley. Il principio di fusione che la materia delle lamine soffre, dove è direttamente colpita dalle scariche elettriche, dimostra assai chiaramente quanto sia intenso il calore che si sviluppa in quel luogo e non vi ha ragione per non supporlo capace di produrre sul rame, e sull'acciaio l'effetto di cui si tratta. Ma si dovrà egli presumere altrettanto degli altri metalli, che come l'argento ed il platino non si colorano sotto l'azione del calore ordinario? Perchè no, se il calore che si svolge nel luogo delle esplosioni elettriche è più vivo e concentrato che non lo è nei casi ordinarj. Questa causa è poi la stessa dalle due parti della batteria, e dee conformemente all'esperienza produrre da ciascun lato lo stesso effetto. Per avere le due apparenze, la positiva e la negativa, non è necessario di eseguire due esperimenti diversi; si ottengono contemporaneamente facendo uso di una disposizione analoga a quella di cui mi servo per aver in un sol tratto le due apparenze elettro-chimiche sopra una medesima lamina (fig. 4 pag. 37.)

Priestley colla scarica d'una batteria di 40 piedi quadrati ottenne d'intorno alla cavità centrale un altro accidente. Trovò questo centro in mezzo ad un piccolo spazio coperto d'una polvere nerastra, e al di là di questo spazio offuscato osservò un cerchio formato d'altrettante punte, o forellini fusi come quelli del centro. Con esplosioni di batterie più poderose giunse a produrre due od anche tre cerchi concentrici della stessa natura separati da intervalli dove non appariva veruna traccia di fusione. Anche questo fatto sembra avere il suo corrispondente nelle apparenze elettro-chimiche, nell'alternativa di cerchi più e

meno scuri che notai fra i primi resultati delle mie esperienze (pag. 24). Io non ho ripetuto quest'altro esperimento di Priestley per mancanza di una batteria bastevolmente energica; ciò nulla meno mi sembra che anche in questo caso l'analogia sia più apparente che reale, perchè l'alternativa de' cerchi più o meno scuri prodotti dalla pila sembra dipendere dal modo con cui s'incalzano, e si sovrappongono i veli di varia natura, che vengono dalla corrente voltaica trasportati sulle lamine.

Tale è l'opinione che reputo nel momento la più probabile: l'accenno per altro di volo senza attribuirvi alcuna importanza, e solo per mostrare sin dove possa estendersi la differenza fra le due specie d'effetti. Del resto l'alternativa dei due cerchi colpiti e non colpiti dalle scariche di Priestley, è un risultato assai curioso che merita di essere studiato di nuovo, e confermato prima di azzardare su di esso alcuna conghiettura.

Reggio il 1.° Ottobre 1827.

NOTA CITATA ALLA PAG. 50.

On trouve dans les Transactions philosophiques, t. 58, une série d'observations de Priestley, concernant des phénomènes analogues à ceux que nous venons de transcrire d'après la Bibliothèque universelle (*Décembre* 1826.) Un extrait du Mémoire du physicien anglais offrira, nous l'espérons, des rapprochemens utiles.

Priestley étudiait l'action des décharges d'électricité ordinaire. Lorsqu'une plaque métallique, dit-il, est frappée de plusieurs explosions successives, sa couleur change à une distance considérable autour de la tache centrale, et l'espace entier se trouve divisé en un certain nombre d'anneaux concentriques, dont chacun présente les couleurs prismatiques, aussi brillantes, peut-être, qu'il soit possible de les obtenir de toute autre manière.

Si, pour transmettre la décharge, on fixe une pointe métallique vis-à-vis d'une surface également métallique et plane, plus la distance est petite, et plutôt on voit naître les couleurs; plus aussi les anneaux sont resserrés; ils occupent, au contraire, un espace d'autant plus grand que l'on fait parcourir à l'étincelle un plus long trajet.

Pour un écartement excessivement petit, on n'obtient que des couleurs confuses; mais la première décharge suffit pour les développer.

Plus la pointe est aiguë, plus les anneaux sont nombreux. Une pointe émoussée produit des anneaux plus larges, mais en moindre nombre; alors aussi les couleurs, à une distance donnée, ne se manifestent que plus tard.

Dans la production de ces phénoménes, ce que l'on remar-

que en premier lieu est un rouge obscur entourant la tache centrale. Bientôt (généralement après quatre à cinq décharges) on commence à distinguer, mais seulement en regardant la surface du métal dans une direction très-oblique, un espace circulaire comme légèrement ombré, ou empreint à peine d'une couleur rouge extrêmement pâle. Cet espace s'étend très-peu pendant tous la série des explosions; mais, par degrés, il se remplit d'anneaux de toutes les couleurs, et ses bords deviennent brunâtres.

(Ce premier espace circulaire avait, dans l'un des échantillons présentés par Priestley à la Société royale, près de 3/4 de pouce de diamètre. Cet échantillon était une plaque d'acier; la pointe, celle d'une aiguille, avait été fixée, pendant les décharges, à une distance de 1/25 de pouce de la plaque).

Reprenons la suite des observations. Après quelques nouvelles décharges (1), un second espace annulaire, dont la largeur est en général de 1/8 ou 1/10 de pouce, commence à s'apercevoir au-delà du premier, et à se couvrir d'une ombre légère. C'est la première nuance des couleurs plus pâles qui se développent bientôt audelà du rouge brun dont se remplit alors la circonférence intérieure.

Les teintes les plus prononcées se manifestent d'abord sur le contour circulaire de la tache centrale; elles reculent à mesure que les explosions se multiplient vers le contour du premier espace annulaire, pour faire place à de nouvelles couleurs. On observe en général après trente ou quarante décharges, trois anneaux distincts. Si l'on ajoute de nouvelles explosions, les cercles colorés deviennent moins beaux et moins nets. Le rouge domine et ternit par son mélange les autres couleurs. Cependant Priestley, dans l'exemple qu'il presentait, attribuait en partie cette confusion à ce que l'aiguille ayant été accidentellement dérangée n'avait pas été exactement replacée dans sa première position.

Les cercles qui se forment les derniers sont mieux terminés; leurs couleurs sont plus vives.

Tous ces anneaux en général peuvent être frottés avec une plume, avec le doigt; ils peuvent, même, être mouillés, sans recevoir aucune altération. On les enlève avec un instrument affilé, avec l'ongle même. Les anneaux intérieurs sont les plus tenaces.

Les premiers cercles sont quelquefois recouverts d'une poussière noire, dont une partie peut être enlevée avec une plume, de manière à laisser voir les couleurs développées sur le metal. En essayant d'arracher plus complétement cette poussière de la

(1) L'auteur n'indique nulle part si les décharges successives savaient la même intensité.

surface rude de l'acier, on enlève en même temps une partie des anneaux colorés; mais il en reste plus de la moitié à laquelle la poussière demeure attachée.

Il est indifférent que la matière électrique sorte de la pointe ou qu'elle y entre (1); la plaque, dans les deux cas, est empreinte de la même manière. La pointe elle-même se trouve colorée jusqu'à une distance considérable de son extrémite, souvent jusqu'à un demi-pouce environ, mais d'une manière un peu confuse. Les couleurs remontent ici, comme sur la plaque; elles s'éloignent du centre, en formant des anneaux concentriques.

Plus les anneaux développés à-la-fois sont nombreux, plus sans doute les couleurs sont delicates. De grandes explosions corrodent la surface métallique. Ces érosions nuisent à la netteté du phénomène sur l'acier; elles n'ont pas lieu sur l'argent, l'étain, le bronze poli. Cependant les couleurs se voient très-bien encore sur l'acier dépoli, quand il ne se recouvre pas de la poussière noire dont il a été question précédemment. Le poli des surfaces n'est donc pas une condition indispensable.

Si la tige pointue a une direction oblique par rapport au plan de la surface qui lui est opposée, la tache centrale se trouve au pied de la perpendiculaire abaissée de son extrémité sur la plaque; mais les anneaux prennent autour de ce centre des figures ovales, et s'allongent dans le sens ou la tige est inclinée.

Les anneaux colorés s'obtiennent également bien sur l'or, l'argent, le cuivre, le bronze, le fer, le plomb, l'étain; ces métaux avaient seuls été essayés.

Priestley compare ces phénomènes aux couleurs produites sur l'acier par la chaleur. Il lui paraît vraisemblable que dans les deux cas l'état de la surface est modifié, sans qu'aucune de ses parties soit détachée de la place qu'elle occupait; qu'il se forme seulement des couches de différentes épaisseurs dont chacune réfléchit la couleur qui lui est propre; qu'enfin l'épaisseur de ces couches varie continuellement à mesure que l'on multiplie les explosions.

(La batterie employée dans les expériences qui précèdent, avait 21 pieds carrés de surface).

Pour compléter ce qui a rapport aux altérations des surfaces métalliques produites par une décharge d'électricité ordinaire, on croit devoir rappeler ici d'autres expériences de Priestley sur les effets de fortes explosions. Il remarqua d'abord sur un bouton de cuivre poli, à l'endroit frappé par l'étincelle, un espace circulaire, où la superficie du métal avait été fondue et toute remplie de petites cavités, comme si une infinité de petites bulles s'étaient formées et avaient éclaté pendant la décharge. Cet

(1) Priestley écrivait dans l'hypothèse de l'accumulation et du transport d'un seul fluide électrique.

espace était entouré d'une couche de poussière noire déposée sur une partie non altérée de la surface métallique. Au-delà de cette poussière, qui s'enlevait facilement avec le doigt, on remarquait un cercle entier formé de petites cavités brillantes et contigues, pareilles à celles dont le centre était empreint.

Le cercle extérieur et l'espace intérieur, suivant Priestley, sont d'autant mieux terminés et d'autant plus réguliers, que la surface de la batterie est plus grande et la tension plus faible. Quelques jarres fortement chargées ne produisent en général que des résultats confus.

Des apparences semblables à celles que l'on vient de décrire, furent observées sur une boîte de montre en or.

Priestley conjectura qu'en employant des métaux plus fusibles et de plus grandes surfaces électrisées, il obtiendrait un second cercle de fusion. C'est en effet le résultat auquel il parvint en recevant sur une plaque d'étain la décharge d'une batterie électrique d'environ 40 pieds de superficie.

Enfin, il obtint l'empreinte de trois cercles distincts et à peu-près également éloignés les uns des autres, sur un morceau d'alliage fusible. Cette fois seulement tout l'intérieur du premier cercle se trouva fondu. La batterie avoit environ 60 pieds carrés de surface.

Annales de chimie et de physique T. XXXIV. note du rédacteur pag. 292.

NUOVE OSSERVAZIONI

SOPRA

LE APPARENZE ELETTRO-CHIMICHE

LE LEGGI ELETTRO-DINAMICHE

ED IL MECCANISMO INTERNO DELLA PILA (*).

Quando si ricevono le due apparenze elettro-chimiche sopra di una sola lamina, non perdono esse alcuno de' loro anelli ma si deformano, schiacciandosi dal lato interno, e per modo che gli anelli si veggono in tal luogo serrati e chiusi, come se avessero sofferto una compressione, o fossero stati obbligati a rinculare l'uno sull'altro (1). Dal lato esteriore non vi ha cangiamento sensibile: gli anelli si mostrano, da quella parte, larghi, e dolcemente sfumati al solito. Tale sfumatura manca poi quasi interamente al di dentro, quantunque le apparenze rimangano ivi separate da un intervallo assai considerabile (Vedi la fig. 4.) Questo spazio che non è coperto da alcun velo, prova che lo schiacciamento non è già come presunsi la prima volta che osservai questo fenomeno, un effetto meccanico dovuto all'incontro delle due specie di veli che vengono a deporsi sulla lamina (2). Le prime apparenze su cui feci l'osservazione dello schiacciamento, erano troppo piccole e troppo vicine per giudicare rettamente de' loro confini. Avvertii sino d'allora che aveva studiato poco la reciproca influenza delle due apparenze, ma che questo fatto, studiato maggiormente, poteva condurre a qualche nuovo risultato. Ora vedremo se la sua analisi sia tale realmente da scoprirci qualche nuova proprietà.

Esclusa l'opinione che le due apparenze, si schiaccino in grazia dell'incontro de' loro veli, si corre subito col pensiero all'idea che questo risultato dipenda in qualche modo dalle condizioni elettro-dinamiche della lamina. Si sa p. e. da un esperimento di Ampère che *le parti successive d'una medesima corrente si respingono*: ora questa specie di ripulsione non sembra essa forse una cagione capace d'allontanare l'uno dall'altro i confini interni delle due apparenze? Ma ecco un fatto positivo che fisserà le nostre idee su questo particolare.

(*) Il presente articolo, sebbene sia il più recente di tutti, si colloca in questo luogo per la relazione che ha colle memorie precedenti.

(1) Per il modo d'ottenere queste apparenze vedi le memorie precedenti, e specialmente quella che comincia alla pag. 37, e che fu pubblicata la prima volta nella *Bibl. Univ. Tom. XXXV* pag. 261.

(2) Vedi le prime esperienze elettro-chimiche alla pag. 35.

Sia AB (fig. 7.) la laminetta destinata a ricevere le due apparenze sotto l'azione delle solite due punte P, N che supporremo pescare nel liquido sino alla linea punteggiata *ll*. Pongasi nel mezzo di AB una sottile tramezza di vetro, per modo che sopravvanzando il livello *ll* impedisca la diretta comunicazione fra il liquido che copre i due poli secondarii della lamina. Compiendo al solito il circuito voltaico si formano sopra di AB le consuete due apparenze, ma in questo caso invece di restar separate da uno spazio considerabile arrivano amendue alla tramezza V, senza sfiguramento sensibile degli anelli che possono capire in quell'intervallo. Che se alla tramezza isolante V se ne sostituisca una di metallo, le apparenze risultano distanti, e schiacciate a un dipresso come quando fra le punte P, N non si inalza sopra di AB alcuna sorta di parete.

Due sono le conseguenze che immediatamente derivano da questa osservazione; la prima che lo stato elettrico della sola lamina non esercita alcuna influenza sullo schiacciamento delle due apparenze; la seconda che questa deformazione dipende in qualche modo dall'elettricità che passa direttamente per il liquido dall'una punta P all'altra N. Tale è la condizione essenziale del fenomeno. Cerchiamo dunque d'esaminarla in tutte le sue parti.

A tal fine comincieremo dall'osservare che le correnti elettriche, una volta incanalate sulla lamina AB (fig. 7.) al disotto della punta P, non l'abbandonano più che per uscire dall'altro lato contro la punta negativa N. Osservando infatti attentamente la superficie inferiore della lamina non vi si scopre giammai alcuna traccia d'alterazione. Che se le correnti traversassero la grossezza della lamina in modo da ripassare nel liquido per una via più o meno tortuosa *pon*, si formerebbero ne' luoghi d'entrata e d'uscita due altri poli secondarii, che si coprirebbero de' soliti veli.

Dobbiamo in secondo luogo riflettere che vi ha maggior copia d'elettricità trasmessa quando la lamina AB pesca nel conduttor umido sotto alle punte P, N, che quando non vi pesca. Io mi sono assicurato di questo aumento col mezzo di un galvanometro messo, come si usa, nel circuito della corrente. In uno degli esperimenti di confronto, eseguiti a questo fine, ho ritrovato che senza la lamina AB la deviazione del galvanometro era di 71.°: introducendo la lamina sotto le punte P, N, la deviazione saliva subito sino a 75.° La pila in azione era di dodici piccoli elementi di 4 pollici di superficie, la lamina AB di platino, ed il liquido una soluzione d'acetato di rame mista con un'altra d'acetato di piombo, per essere ben certo d'operare in un caso favorevole allo sviluppo d'amendue le apparenze elettrochimiche (1).

(1) La corrente che s'introduce nella lamina AB si riconosce in un'altra maniera mettendo cioè la lamina in comunicazione diretta coi fili d'un galvano-

La lamina AB occupa senza fallo una parte ben poco considerabile del lunghissimo circuito che la corrente percorre in tutto il suo giro; ma se quel cortissimo intervallo è una frazione trascurabile dell' intero circuito, non è già tale quando si confronta immediatamente collo spazio che la corrente ha da traversare nella soluzione in cui pescano le due punte P, N. Egli è in questo confronto dove dee ricercarsi la ragione dell' aumento prodotto, nell' elettricità trasmessa, dalla presenza della lamina AB. Allorchè manca nel liquido questo pezzo di conduttore perfetto, la corrente dee tutta passare per la via d' un conduttore imperfetto, quale si è il liquido dell' esperienza: quando vi è la lamina AB, la corrente fa il suo tragitto dalla punta P alla punta N, parte per la via del solo conduttore umido, e parte per la via del conduttore metallico. Questa seconda via è molto migliore della prima; onde vi ha per la porzione di corrente che preferisce il cammino più facile, un aumento d' intensità abbastanza notabile per essere misurato dal galvanometro (1).

Ma quì sorge un' altra quistione, ed è se le correnti che non abbandonano la via del conduttore umido, hanno un' intensità costante, oppure se la variano in presenza del conduttore metallico AB. Si facciano pescare nel liquido, fra le punte P, N, due fili finissimi di platino communicanti col circuito d' un galvanometro molto sensibile, e si vedrà questo secondo istrumento segnare una deviazione che diminuisce di più gradi quando si presenta la lamina AB al di sotto delle punte P, N. Questa lamina non altera già colla sua presenza la conducibilità del liquido: è questo egualmente conduttore di prima; nè il calo che soffrono le sue correnti, vorrà dir altro se non che una parte di esse è costretta a preferire la via del conduttore più perfetto.

Non v' ha dubbio, la presenza della lamina AB al disotto delle punte P, N fa sì che una porzione della corrente passi per la lamina, mentre il rimanente passa direttamente dall' una all' altra punta. Ma quali sono, sui fili che decompongono il li-

metro. Sia che questa congiunzione si faccia al di dentro del vaso o fuori, l' istrumento dà sempre lo stesso indizio d' una corrente che segue il cammino di quella della pila. È questo un effetto non dissimile da quello che ottiensi cogli scandagli galvanometrici, immersi nel liquido, e che non è punto da confondersi colle induzioni elettro-dinamiche del Faraday, colle quali non ha nulla di comune nello stato attuale della scienza.

(1) Se si collocasse la lamina in mezzo alle due punte a foggia di diaframma, si avrebbe in allora l' effetto in verso della diminuzione, conforme ad osservazioni analoghe di De-La-Rive. L' influenza delle tramezze metalliche è stata studiata da questo distinto fisico nel caso in cui tutta la corrente sia obbligata a traversarle: resta a fare l' altro studio nel caso in cui la corrente le traversi in parte, ed in parte le circuisca. Ho già intrapreso questo lavoro, che pubblicherò quanto prima al seguito della presente memoria.

quido le parti che dirigono la corrente verso la lamina, e quali quelle che la dirigono per la sola via del conduttor umido?

Bisogna prima di tutto semplificare la questione, cominciando dal ricercare come si eseguisca il movimento della corrente fra i due poli P, N indipendentemente dalla presenza della lamina AB.

Le osservazioni di De La Rive, e di altri fisici c' insegnano che le decomposizioni operate colla pila hanno luogo sopra i conduttori metallici per tutto quel tratto che si trova immerso nel liquido del circuito voltaico. Ma una tale decomposizione è dessa uguale da per tutto e contemporanea, oppure diversa, d'intensità e di tempo, in quelle parti immerse? Le antiche osservazioni non rispondono alla dimanda: esse sono troppo grossolane per il caso nostro, il quale ne esige delle molto più precise, per la ragione che ci deggiono illuminare sulle più minute circostanze che accompagnano il passaggio delle correnti dall' uno all' altro de' nostri due poli P, N.

Le apparenze elettro-chimiche ci offrono per buona sorte il mezzo di verificare le delicate vicende che c'interessano. Gli effetti non riescono di certo abbastanza distinti sopra due fili sottili al pari di P, N, ma divengono ben tali sopra fili più grossi, e meglio ancora sopra due lamine piane, d' un pollice circa di larghezza, collocate parallelamente l'una all'altra nel luogo delle due punte P, N. Operando al solito sopra la soluzione dei due acetati di piombo e di rame si osserva;

1.° Che i veli elettro-chimici si formano prima sugli angoli *a'*, *a* (fig. 8);

2.° Che da queste punte si dilatano sui tre spigoli *ab*, *aa'*, *a'b'* non però egualmente, ma più presto sopra lo spigolo orizzontale ed inferiore *aa'* che sopra i due verticali *ab*, *a'b'*.

3.° Infine che dopo gli spigoli l' apparenza invade l' interno della lamina *cd*, producendo degli anelli contornati come indica la figura, tali visibilmente da mostrare che i veli elettro-chimici si raggiungono in *d* dopo di aver preso le mosse dalle punte *a*,*a'*, corsa la via degli spigoli, e di qui passati infine nell' interno della faccia *cd*.

Questa descrizione, colla figura annessa n.° 8, risguarda la faccia interna d' una delle due lamine parallele. La faccia esteriore si colora un po' più tardi dell' interna, ma a un dipresso secondo l'ordine di questa, senza altra circostanza particolare che meriti d' essere riferita (1).

Ecco dunque quel che accade nel caso dei due fili P, N

(1) Facendo l' esperienza nel solo acetato di piombo, si trova dopo un certo tempo, la lamina positiva coperta tutta d'uno strato nero, e la negativa coperta del piombo repristinato con tale differenza però che il piano delle faccie ne ha una semplice velatura mentre gli spigoli sono guerniti di fiocchi.

(fig. 9). L'irraggiamento comincia alle punte estreme P, N, e di quì monta in P'', N'' sino al livello del liquido; salita però un po' più pronta dal lato interno che dall'esterno.

Questa successione di vicende non era punto prevedibile colle cognizioni che si avevano intorno all'irraggiamento delle correnti ne' liquidi conduttori. E difatti invece d'aspettarsi di veder cominciare la decomposizione sulle parti estreme N, P si avrebbe creduto che avesse da principiare al livello del liquido in N'',P'', che sono le prime parti a chiudere il circuito. Ma la cosa non è così: è quale l'abbiamo indicata; nè ora ci resta altro che da seguire il fenomeno nella circostanza della presenza della lamina AB (fig. 10).

Questa lamina entra pur essa nel circuito, ed è fra essa e le punte P, N che comincia l'irraggiamento della corrente. Un momento dopo l'irraggiamento s'estende un pochino più in su, per esempio, sino in' P',N', continuando sempre a farsi sulla lamina AB. Negl' istanti successivi le correnti arrivano sino al livello del liquido in P'',N'', ma non prevengono sin là che dopo d'essersi divise in due canali o filoni, l'uno diretto, come prima, per la via della lamina, l'altro che abbandona questa direzione per passare a dirittura dall'uno all'altro filo. Ma in quest'ultima vicenda non entrano che le parti interne de'fili N''N, P''P,: le parti esterne continuano ad irraggiare la loro corrente verso la lamina AB, che è esposta direttamente alla loro azione, e dove le correnti si precipitano anzi che contorcersi per passar dal di dietro dell'un filo al di dietro dell'altro. Così le apparenze elettro-chimiche soffrono al di fuori una dilatazione che manca in parte al di dentro per la soppressione dell'irraggiamento che si fa per la via del conduttor umido.

È già qualche cosa l'esser giunti a questo punto, ma non tutto. E difatti non basta sapere che le due apparenze abbiano da riuscire più estese al di fuori che al di dentro per il motivo indicato: bisogna inoltre rendere ragione del largo intervallo che separa le due apparenze, e dello stringimento che soffrono i loro anelli dal lato interno dove si veggono senza sfumatura e serrati per modo gli uni contro gli altri che non è possibile d'imitarli con nessun artifizio (1).

Ed oltre a tutto questo resta da verificare un'altra circo-

(1) L'imitazione meno infedele si ha operando come segue. Si versa sopra una lamina di platino o d'acciajo, una goccia di soluzione d'acetato di piombo, avendo cura che la goccia si mantenga di forma circolare e gonfia il più che si può. Si tocca quindi la lamina colla punta positiva dell'apparecchio mentre si fa discendere la punta negativa sulla goccia per modo che la penetri un tantino, non già nel mezzo ma da una parte. Ciò fatto, si chiude al solito il circuito per avere l'apparenza, la quale prende l'aspetto d'un *occhio*, che somiglia un poco all'apparenza schiacciata *p* della fig. 4, ma che ne differisce essenzialmente per le condizioni speciali che regolano le due disposizioni come si vedrà più innanzi.

stanza di fatto, ed è se lo schiacciamento che soffrono le apparenze dal lato interno, appartenga a questa sola parte, oppure si estenda sino al centro e lo trapassi.

Sinchè si ricevono le due apparenze sopra una lamina molto vicina alle punte P, N (fig. 4), cominciano esse a formarsi così bene sotto quelle punte, che i loro centri vi sembrano corrispondere esattamente. Scostando invece le punte P, N dalla lamina, si vede distintamente che tutto il sistema è spostato cominciando le apparenze a formarsi in *p*, *n* (fig. 11) come se fossero animate da una reciproca ripulsione.

Questa particolarità egualmente che tutte le altre dipendono sicuramente dal cammino, che è obbligato a batter ciascuno di due sistemi di correnti che si stabiliscono nel liquido; l'uno che va direttamente da punta a punta, e l'altro che penetra nella lamina AB. Ma quale sarà la via particolare di ciascheduno? Quella, io credo, che viene regolata dalle leggi di Ampère, come ho cercato di verificare nel modo seguente.

La prima legge stabilisce che le correnti dirette per lo stesso verso s'attraggono. Per verificarla dentro i liquidi, ho sostituito a ciascuno de'due soliti fili una specie di forchetta PP", NN'(fig. 12) a due punte parallele fra loro ed equidistanti dalla lamina. Si formano allora, per ogni parte, due picciole apparenze dello stesso nome che hanno i loro centri *p*, *p'*, ed *n*, *n'* più vicini che non sono le punte P, N, conformemente al principio che le correnti dirette nel medesimo verso s'attraggono. Per non confondere i resultati conviene impiegare una pila piuttosto debole, e delle punte sottili che peschino poco nel liquido e sieno distanti tre o quattro linee dalla lamina, e due linee circa, in ogni forchetta, fra loro.

Per verificare l'altro principio della ripulsione fra le correnti contrarie, applico una lista di stagno SS (fig. 13) ad una lamina di platino, e poi ricevo nel mezzo di questa i soliti anelli colorati costituenti l'apparenza positiva *p* dell'acetato di piombo. Senza la lista di stagno gli anelli riescono tutti perfettamente rotondi: colla lista gli anelli esteriori rimangono schiacciati dal lato di questa, mantenendosi rotondi in tutto il resto del contorno.

Lo stagno ed il platino formano una combinazione voltaica, la quale dà luogo alla formazione di correnti che partono dallo stagno, che è il metallo *positivo*, ed *entrano* nel platino che è l'elemento *negativo*, dopo d'aver traversato il liquido. Le correnti invece della pila che producono l'apparenza positiva *p escono* dal platino. Sono per conseguenza contrarie a quelle dell'appendice SS, che ne impedisce l'avanzamento, conforme allo spirito della seconda legge d'Ampère.

E poichè cade in acconcio siami permesso d'osservare in questo luogo, che dentro la massa de'conduttori le correnti non

si possono nè incrociare nè sovrapporre ad uso de'raggi di luce: ogni filo di corrente è obbligato a seguire un cammino separato, come dimostra l'osservazione delle due apparenze contrarie, la *positiva* e la *negativa*, le quali non possono mai coesistere nel medesimo luogo.

E se mai non bastasse quest'osservazione generale in un punto di tanta importanza quale si è quello d'assegnare alle correnti elettriche il vero loro cammino, aggiungeremo le seguenti due esperienze, le quali non lasciano, io credo, nulla da desiderare.

Abbiansi, in un vaso pieno d'una soluzione d'acetato di piombo, quattro laminette verticali, situate, come indicano le loro projezioni in P, N, P', N', (fig. 14) all'estremità delle diagonali d'un quadrato. Siano poi le due laminette P, N d'una diagonale in comunicazione con una pila, e le altre due P', N' in comunicazione con una seconda pila. È questa, come si vede, una disposizione congegnata a bella posta per avere nel liquido due correnti che s'incrocino ad angolo retto. Ma se tale è l'idea, l'effetto ne è totalmente diverso. I casi da esaminarsi sono due, quello delle pile di forza eguale, e l'altro delle pile di forza disuguale.

Nel primo caso dell'eguaglianza, le due pile non lavorano già separatamente l'una dall'altra, come potrebbe supporsi; lavorano insieme formando un solo circuito, e dando luogo ad una sola circolazione, la quale passa due volte per il liquido, l'una volta da P in N', e l'altra da P' in N, come lo dimostrano a vista d'occhio le apparenze positive che cominciano a formarsi in *p*, *p'* dal lato di N', N. Il piombo che si repristina sulle lamine negative N, N' indica anch'esso il medesimo movimento cominciando la sua riduzione in *n'*, *n*.

E la differenza non è già da attribuirsi a difetto di precisione nella montatura dell'apparecchio, perchè le medesime lamine collocate al medesimo posto si colorano egualmente da amendue le parti, quando soppressa l'azione d'una pila, la corrente dell'altra passa necessariamente per la diagonale che divide le lamine dell'esperimento.

Nell'altro caso delle pile disuguali, l'effetto che ne risulta è indicato dalla fig. 15, nella quale si suppone che la pila più forte sia quella che termina alle lamine P, N. La corrente di questa pila si divide in due parti; una parte va a dirittura per la diagonale PN; l'altra s'unisce alla corrente più debole, colla quale fa il giro del caso precedente traversando il liquido due volte, l'una per la via PN', e l'altra per la via P'N. Anche questo è un effetto che si segue ad occhio sulla lamina P', dove la colorazione ha luogo dal solo lato di N. La lamina P si colora invece da pertutto, ma un poco più dal lato di N' dove passa la corrente della pila più debole.

Quando la pila più energica appartiene alle lamine P', N' (fig 16), è la corrente di essa che traversa in parte la diagonale P'N': il resto s' unisce alla corrente più debole, colla quale passa al solito due volte per il liquido, come indica la figura.

Ma della corrente che viene dalla pila più energica, quale sarà, si può chiedere, la porzione che circolerà da sè sulla diagonale del vaso, e quale l'altra che circolerà insieme colla corrente della pila più debole? La risposta scende naturalmente da ciò che succede nel caso delle due pile di forza eguale (fig. 14.) allorquando una di queste riceve in qualche modo un rinforzo di corrente. Questo rinforzo non altera punto nè l' effetto chimico nè il galvano-metrico della corrente non rinforzata: circola da sè indipendentemente dalla prima circolazione comune che continua a farsi come prima. Ecco dunque quel che avviene in qualunque combinazione di correnti disuguali: la corrente più gagliarda circola in parte colla corrente più debole, ed in parte circola da se, e quest' ultima parte non è che l' eccesso della prima sulla seconda.

Le apparenze elettro-chimiche troncano dunque il nodo della questione. Ma che dice in tali circostanze il galvanometro messo che sia in comunicazione coi circuiti delle due pile che si esperimentano? Le sue deviazioni non crescono nè calano: si mantengono le medesime tanto nel caso in cui una sola delle due pile sia in azione, quanto nell'altro in cui lo sieno amendue (1).

Egli è da questa eguaglianza di risultati che un fisico distinto credette di poter dedurre che le correnti godevano la proprietà de' raggi luminosi e calorifici, d' incrociarsi liberamente, senza imbarazzarsi le une delle altre. Il fatto era specioso e l' analogia seducente; ma in realtà si fece parlare al galvanometro un linguaggio non suo. Questo strumento indica la forza delle correnti, non già la via che battono le correnti medesime prima d' arrivare ad esso; e se col cangiare di strada, le correnti cambiano, generalmente parlando, di forza, vi ha pur de' casi in cui non avvengono cangiamenti. Tali per appunto sono quelli dei supposti incrocicchiamenti: casi però preziosi sotto varj punti di vista, e meritevoli d' uno studio speciale, che faremo in altra occasione, non potendo per ora allontanarci davvantaggio dallo scopo principale di quest' articolo, che è di giungere ad un' idea sufficientemente netta del giro che devono fare le correnti per produrre le apparenze schiacciate *p*, *n* della fig. 4.

Si osservi la fig. 17 ed in essa si vedrà il giro che fanno le correnti, quale ci sembra risultare dal complesso delle osserva-

(1) Vedi la memoria del Marianini su questo soggetto (*Annales de chimie et physique* Ottobre 1829, oppure la *Bibl. Univ.* Tom. 43. pag. 138. 1830.)

zioni precedenti. Le correnti che vanno dalle punte alla lamina si sono per chiarezza separate, con una linea punteggiata, da quelle che vanno direttamente da punta a punta. Queste ultime formano il filone più ricco, tendente sempre ad appropriarsi i fili che gli vengono in certo modo strappati dalla vicinanza della lamina AB. Questi fili sono poi contrari di direzione e si respingono conforme alla legge, incurvandosi e rinculando siccome conviene per formare dal lato interno quelle apparenze compresse e senza sfumatura che abbiamo descritto più volte.

Collochiamo fra i due fili P, N una lamina isolante. Le correnti che andavano da filo a filo vengono meno: tutte o quasi tutte si dirigono sulla lamina AB, ed il fenomeno non presenta più nulla di straordinario (vedi la fig. 7).

Dovrebbe esser questo il fine dell' articolo, ma il soggetto è così legato al giuoco interno della pila che non saprei dispensarmi dall' aggiungere le seguenti due riflessioni. Si riferisce la prima alle leggi elettro-dinamiche d' Ampère ed è che se queste leggi si verificano entro la massa de' conduttori, come sembrano dimostrare le ultime mie osservazioni, dovranno i chimici avere ad esse il debito riguardo, ed associare ai principj puramente elettro-statici che reggono la loro scienza, gli elettro-dinamici; associazione che servirà forse a rassodare l' edifizio elettro-chimico in que' punti dove lascia, nel suo stato attuale, da desiderare più consistenza.

La seconda riflessione riguarda il fatto, ch' io credo importantissimo della fig. 8, il quale c' insegna che le correnti hanno una tendenza la più spiegata ad accumularsi sulle punte e sugli spigoli prima di sboccare nel liquido che esse decompongono. È questo, io direi, un *effetto di tensione*, prodotto da mancanza di conducibilità.

Sinchè si tratta d' una pila composta d' un certo numero di coppie attive di rame e zinco, eccitate tutte egualmente collo stesso liquido, e chiusa poi con un filo congiuntivo abbastanza grosso per iscaricare tutta la corrente dell' apparecchio, si può ritenere che tale corrente sia continua, o poco lontana da questo stato. In tal caso la corrente che è in giro, è la medesima che viene prodotta da una sola coppia, come ben sanno i fisici, e come provò per il primo in un modo soddisfacente il Professore Marianini (1). In tale stato di cose il giuoco della pila è ridotto alla sua maggiore semplicità: sparisce l' influenza del numero degli elementi, da cui dipende la tensione, e resta l' azione d' un solo.

Tronchiamo ora il filo congiuntivo per tuffarne le parti tagliate in un liquido qualunque. Quel filo sintanto ch' era continuato, non offriva, per la sua grande conducibilità che poca

(1) Saggio d'esperienze elettro-metriche Venezia 1825.

o nessuna resistenza alla corrente che gli veniva dalla pila. Ora esso è in una sua parte rimpiazzato da un liquido che per conduttore che sia, è sempre le migliaja di volte meno conduttore del metallo. Che cosa adunque accadrà in virtù d'una sostituzione così pregiudicevole alla regolarità della prima circolazione? La corrente trova nel liquido interposto un ostacolo che diminuisce la sua velocità di propagazione: è questo il noto risultato; ma vi ha, dico io, molto di più. Se prima la circolazione era continua, ora diviene intermittente, e se prima era intermittente, l'intermittenza diviene ora molto maggiore. E se prima non rimaneva sul circuito chiuso alcuna traccia sensibile di *tensione*, ora questa si manifesta nella tendenza che la corrente ha d'accumularsi alle punte ed agli spigoli prima di sboccare nel liquido, che l'interrompe nel suo corso ordinario. Il meccanismo della pila diviene in tal caso un giuoco alternativo di tensioni, e di correnti: la corrente s'arresta un momento al punto dell'intoppo, e questo è il momento della tensione, in cui l'elettricità corre alle punte ed agli spigoli secondo le note leggi d'elettro-statica. Nell'istante successivo l'elettricità sbocca nel liquido, e compie il suo giro per ritornare al luogo dell'intoppo, dove si rinnuova la vicenda di prima. Ma la vicenda di cui si parla, è d'una complicazione imbarazzante. Non si tratta più d'una corrente che parte da una coppia qualunque della pila, senza che le altre vi prestino ajuto: si tratta adesso d'una corrente che s'arresta al confine d'un conduttore molto imperfetto, il quale assume precariamente l'uffizio d'isolatore e dove concorrono all'effetto le condizioni della pila isolata, e le altre della pila chiusa: le prime perchè ogni coppia dà la sua spinta alla corrente arrestata, le seconde perchè più veloce e più copiosa che sarà stata la corrente in giro, maggiore riuscirà il cumulo dell'elettricità al luogo dell'intoppo, dove la corrente s'arresta quel tanto che le occorre per superarlo rinforzata al grado competente.

E quì per non ometter nulla su questo soggetto che fra gl'importanti è il più importante di tutti, avvertirò per ultimo che l'attitudine accordata all'elettricità in corrente di costituirsi in istato di tensione al punto d'un'interruzione, è tutt'altro che gratuita: è un fatto reso evidente dal confronto dei due risultati che si ottengono da un solo elemento alla Wollaston all'atto del chiudere, e dell'aprire il circuito: in quest'ultimo caso, che è quello d'una circolazione interrotta, scocca la scintilla, non mai nell'altro del chiudere a cui corrisponde una tensione debolissima, inetta del tutto a tale effetto (1). È questo il fatto

(1) L'esperienza si fa d'ordinario in mezzo all'aria, che è un ottimo isolatore; ma riesce eziandio dentro i conduttori umidi, come sono l'acqua e le soluzioni saline.

che mi condusse all'idea del *condensatore elettro-dinamico*, dopo d'aver tratto col Cav. Antinori, la prima scintilla dalle calamite ordinarie (1), e che ora si riproduce per dare alle nuove viste sul giuoco interno della pila tutto quel peso che loro compete nello stato attuale della scienza.

Dal Museo 24 Dicembre 1833.

(1) Antologia di Firenze N.° 131 pag. 153 e N.° 136. pag. 71.

CONFRONTO

DEI DUE

GALVANOMETRI PIÙ SENSIBILI

LA RANA ED IL MOLTIPLICATORE A DUE AGHI

CON ALCUNI RESULTATI IN FINE

Il galvanometro a due aghi, quale lo immaginai due anni sono, è d'una sensibilità che sembra a prima vista insuperabile: io ne posseggo alcuni dove l'indice è trasportato al di là de 150° nel primo movimento ch'esso fa sotto l'azione di correnti debolissime, come si è per esempio quella d'un elemento termo-elettrico composto di due fili di rame e di ferro riscaldati, in una delle loro giunture, col solo calore delle dita. La rana dà essa pure segni distintissimi di sbilanci elettrici estremamente deboli, come lo provano tutte le sperienze eseguite nella prima epoca del galvanismo. Ma quale di questi due mezzi, la rana ed il moltiplicatore a due aghi, è da preferirsi nelle indagini più delicate? Senza dubbio il moltiplicatore ha sulla rana un assoluto vantaggio dal lato della comparabilità de'resultati; ma se le contrazioni di quell'animale non somministrano dati così precisi come quelli del moltiplicatore, non è questo un motivo sufficiente per rinunziare interamente alle risorse che può offrire la rana. Ed infatti quando questa fosse più sensibile del moltiplicatore, converrebbe pure ricorrere ad essa in tutti que'casi, in cui l'altro istrumento desse risultati equivoci o negativi. Io sono naturalmente stato condotto ad esaminare la sensibilità relativa della rana, e del mio galvanometro nello studiare gli esperimenti di Becquerel e Davy intorno allo sviluppo delle correnti elettrochimiche. Vi ha egli realmente eccitamento di correnti elettriche all'atto delle combinazioni chimiche? È questo il punto ancora controverso ch'io andava tentando di rischiarare con nuove esperienze, quando m'avvidi che non si era ancora pensato alla rana, e che forse avevamo in questo sensibilissimo animale il mezzo più adattato per risolvere la quistione. Io indicherò alla fine i risultati positivi che ho ottenuti a questo riguardo; ma dovendo subito occuparmi del soggetto principale del presente articolo, entrerò prima nel dettaglio delle ricerche istituite all'oggetto di fissar il posto che la rana ha da tenere fra i galvanometri.

Questi strumenti sono destinati alla misura delle correnti

elettriche, che soglionsi distinguere in *continue e discontinue*. Studieremo prima gli effetti delle une, indi quelli delle altre.

Correnti continue.

Queste correnti si distinguono in *idro-elettriche* ed in *termo-elettriche*. Nelle prime entra sempre un qualche conduttor umido, e si eccitano in due modi, sia con soli conduttori di seconda classe, sia con conduttori di questa specie combinati con quelli di prima classe, che sono i metalli. Chiameremo *idro-elettriche di seconda classe* le correnti eccitate nel primo modo, *idro-elettriche di prima classe* le altre.

Nelle correnti *termo-elettriche* sin quì conosciute non entrano conduttori umidi, ed esse si sviluppano col solo calore applicato a circuiti interamente metallici.

I.° CONFRONTO

Correnti idro-elettriche di seconda classe.

Si prepari una rana alla nota maniera di Galvani, e riempiute due tazze M, N d'acqua, o meglio d'una dissoluzione salina, si disponga la rana per modo che le sue zampe peschino nella tazza M, ed il tronco della midolla spinale nell'altra N. Le coscie si sostengono in qualche modo, sia sopra una terza tazza voltata col fondo all'insù, sia con qualche altro corpo isolante. Si prenda in seguito una striscia d'ammianto, od anche un cordoncino di cotone, ed inzuppato nel liquido delle due tazze si tenga pronto per compiere con esso il circolo galvanico, tuffandone i capi entro i vasi M, N. Se la rana è preparata di fresco non mancano mai, o quasi mai d'eccitarsi le contrazioni al momento in cui si chiude il circuito. In questo circolo non entra alcuna sostanza metallica, e l'effetto è dovuto alla sola combinazione di conduttori di seconda classe abbastanza differenti fra loro per produrre una corrente sensibile alla rana. Avremo sovente occasione di parlare di questa corrente: la chiameremo perciò *corrente della rana* senza imbarazzarci delle parti, qualunque esse si sieno, che la eccitano.

Riconosciuta così presto la corrente della rana, primo mio pensiere fu d'introdurre questa medesima corrente in uno de' miei moltiplicatori più sensibili per osservare l'indizio che ne dava. Io aveva tale fiducia nell'istrumento che impiegai in questo primo confronto, che rimasi mortificato nel vedere che la rana si contraeva ancora nel nuovo circuito mentre non si moveva punto l'indice del moltiplicatore. Questo risultato mi fece

temere che l'istrumento potesse di sua natura non essere capace di misurare le correnti eccitate dai conduttori di seconda classe; ma prima di dar peso a quest' opinione feci un secondo tentativo. Costruii un altro galvanometro, a cui prodigai ogni sorta di cure affinchè riuscisse migliore di tutti quelli che aveva adoperato sino a quel punto. Riuscì difatti molto più delicato; ed ebbi da esso segni non equivoci della corrente della rana. Colle tazze M, N piene d'acqua comune le deviazioni riescono di pochi gradi; ma colle soluzioni saline i primi movimenti dell'ago sono di 10, 20 ed anche 30 gradi.

La corrente della rana va dal muscolo al nervo, ossia *dai piedi alla testa*. Questo risultato è della massima importanza per la teoria non meno che per la pratica d'uno dei nostri più preziosi istrumenti: noi lo notiamo per tempo riservandoci poi di prevalercene in seguito.

Abbiamo detto che l'ago devìa di pochi gradi quando nel circuito della corrente della rana le tazze M, N sono piene d'acqua: ora dobbiamo aggiungere che per poco che si aumenti l'estensione di questo cattivo conduttore, non passa più pel filo del moltiplicatore tanta corrente che basti a muovere sensibilmente il suo indice. Nello stesso caso una buona rana dà ancora qualche segno della propria corrente: il che le assicura un certo grado di superiorità.

II.° CONFRONTO

Correnti idro-elettriche di prima classe.

Aspettiamo che una rana non si scuota più all'azione della propria corrente; indi poniamola nel circuito d'un'altra corrente eccitata al solito con un elemento voltaico ma indebolita per modo che passi inavveduta al moltiplicatore. Noi vedremo la rana contrarsi sotto l'azione della corrente voltaica se non sempre almeno sovente ed in particolar modo quando la corrente traversa la rana dai piedi alla testa. Il vantaggio adunque che la rana possiede nel caso delle correnti idro-elettriche di seconda classe, essa nol perde in quelle di prima Era facile di prevedere questo risultato; ma pure conveniva assicurarsene con un esperimento diretto.

III.° CONFRONTO

Correnti termo-elettriche.

Queste correnti sono sensibilissime al galvanometro a due aghi, sinchè si mantengono sopra un circuito che sia tutto metallico; ma tosto che si fanno passare attraverso de' conduttori umidi, s' indeboliscono in guisa che i soli galvanometri meglio costruiti ne danno segni d' una certa distinzione (1). Questi indizj calano col crescere il liquido interposto, e finiscono per perdersi interamente, oltrepassato un certo intervallo. Sia, per fissare le idee, VV (Fig. 18) il vaso che contiene il liquido messo nel circuito d' una corrente termo-elettrica, ch'ecciteremo per maggiore semplicità in un elemento composto di solo rame e precisamente sul filo stesso del moltiplicatore. P*p* sarà una delle estremità di questo filo; *n''n'n* N sarà l' altra, troncata ad una certa distanza dal vaso per avere in *n'*, *n* due estremità libere. Arroventiamo la punta *n*, e poi tocchiamola così rovente colla sua vicina *n'*. L' indice del moltiplicatore non si moverà che di pochi gradi se breve è l'intervallo *pn''*: resterà fermo se quel tragitto avrà una certa estensione. Supponiamolo esteso quant' occorre per quest' ultimo effetto ed oltre a ciò aumentiamolo di tutto il corpo d' una rana, la quale abbia perduto qualche poco della primitiva sua irritabilità. Ciò fatto, si chiuda il circuito col porre a contatto le due punte egualmente fredde *n'*, *n*. La rana o non si scuoterà punto od assai debolmente in grazia della propria corrente, ch' essa è forse in grado di risentire ancora un tantino. Dopo questa osservazione, si arroventi la punta *n*; indi si tocchi colla fredda *n'*. Al momento del contatto la rana si scuoterà vivamente, e l' indice del galvanometro resterà fermo come prima.

Se nella prima epoca del galvanismo, nella quale si cimentarono le rane in tante maniere, fosse venuto in mente a qualche fisico l' idea d' armare il muscolo ed il nervo con due *lunghi* fili dello stesso metallo, e poi d' arroventare l' estremità libera d' uno de' fili per toccarla in seguito coll'altra non riscaldata, la scienza si sarebbe arricchita più di venti anni prima dell' interessantissima scoperta del D. Seebek; e Volta sarebbe rimasto sorpreso alla vista d' un fatto che conduceva direttamente ad una conseguenza contraria allo spirito de' suoi principj, quale si era la possibilità d' eccitare una corrente in un circuito formato di sole sostanze metalliche. La rana in fatti, nell' esempio or ora citato, esercita le sole funzioni di conduttore; nè le estremità

(1) I galvanometri più sensibili per le correnti *idro-elettriche* non sono i migliori per le *termo-elettriche*. Queste ultime esigono un filo conduttore più grosso, e che faccia un minor numero di giri intorno al telajo.

dell' arco metallico applicate al muscolo ed al nervo producono, per essere omogenee, alcuno sbilancio elettrico (1). Tutto l'effetto deriva dalle parti di mezzo dello stesso arco, riscaldate in un luogo e fredde nell' altro: onde supposto che alla rana venga sostituito un pezzo qualunque di metallo, le cagioni ch' eccitano la corrente sussistono come prima, e piuttosto che venir meno per la soppressione di questo conduttore di seconda classe, essa dovrebbe crescere d' energia; appunto come succede in realtà.

Immaginiamo, per ultima riflessione, che si fosse poco fa chiesto ai fisici il motivo per cui si era tardato sì gran tempo a scoprire le correnti termo-elettriche. Tutti probabilmente avrebbero risposto che una tale scoperta attendeva l' altra più luminosa del Prof. danese. Ora per altro si vede che gli elettricisti avevano nella rana un istrumento capace, al pari dell' ago magnetico, di rendere palesi le correnti del D. Seebek; così che qui si rinnova l' occasione d' osservare che gli esperimenti più semplici e decisivi sono talvolta gli ultimi ad eseguirsi, e che solo si presentano allo spirito dopo d' avere percorse tutte l' altre vie.

Correnti discontinue.

Ne abbiamo di due specie, quelle delle pile a secco, e l' altre delle macchine ordinarie.

IV.° CONFRONTO

Pile a secco.

Queste pile sono ordinariamente senza azione tanto sulle rane come sui moltiplicatori: e dico *ordinariamente* perchè il Prof. Zamboni m' assicura che le sue pile hanno la forza di produrre le contrazioni della rana. Sarà questa una virtù che possederanno probabilmente fabbricate di fresco, e che perderanno poi col lasso del tempo.

V.° CONFRONTO

Macchine ordinarie.

L' elettricità di queste macchine, per debole che sia, fa entrare la rana in forti convulsioni: i moltiplicatori ordinarj non

(1) Quest' omogeneità è garantita dalla *lunghezza* de' fili, la quale non permette che il calore dell'estremità arroventata si propaghi in alcun modo sensibile alla parte che tocca la rana.

danno invece alcun segno nè della debole nè della forte. Per averne qualche indizio bisogna isolare molto di più i giri del moltiplicatore, e servirsene siccome ha fatto il Sig. Colladon.

Conclusione

Dai diversi confronti, a cui abbiamo assoggettati i due istrumenti, risulta che la rana non la cede in verun caso al moltiplicatore. Era già abbastanza conosciuta la di lei superiorità nel caso dell'elettricità ordinaria; ma restava da fissare il punto principale, il posto cioè che le conveniva come esploratore delle correnti continue. Con nuove cure arriverò forse a migliorare ancora di qualche poco il mio galvanometro; ma niuno sforzo varrà probabilmente a procurargli tutta la sensibilità d'un'ottima rana. Ad ogni modo essa merita attualmente il primo posto; e dico questo ad onta che non abbia sinora ottenuto effetto sulla rana che non l'abbia più o meno verificato al galvanometro (1). È giusto egualmente di non omettere un'avvertenza a favore di quest'ultimo istrumento, ed è che per la misura delle correnti termo-elettriche non è punto necessario di farle passare attraverso d'un conduttore umido, come si fece all'occasione del III. confronto. Bisognava in allora esperimentare così, perchè la rana doveva necessariamente entrare nel circuito del moltiplicatore; ma a riserva di questo caso speciale, e d'altri pochi egualmente particolari, le correnti termo-elettriche s'introducono a dirittura sul filo dell'istrumento, dove compiono il loro giro senza abbandonar mai la via de' conduttori metallici: via per esse così eccellente che le correnti eccitate da differenze di temperatura debolissime producono deviazioni considerabili, men-

(1) Poco dopo ch'io ebbi fatto conoscere il mio galvanometro a due aghi, alcuni credettero che si potesse rendere ancora più sensibile col raddoppiare il sistema che io aveva adottato. Pubblicai, due anni fa, una *Nota* dove mostrai che non si guadagnava nulla in tali raddoppiamenti (*Vedi questa nota alla pagina* 4.); ed ora veggo, non senza qualche sorpresa, che M. Becquerel sembra preferire l'impiego di quattro aghi, e che oltre a questa complicazione invece di servirsi di un circuito solo ne impiega dieci che partono tutti dalle stesse due estremità (*Ann. de Chim. et Phys. Tom.* 35 *pag.* 118). Le correnti molto deboli passano in tutta la loro totalità per fili sottilissimi, lunghi più centinaia di piedi. Questo fatto, che ho per mia istruzione verificato più volte, non sembra aver diretto M. Becquerel nell'uso de' suoi dieci fili. Invece di servirsene come diramazioni d'uno stesso filo, ne avrebb'egli tratto un partito molto più vantaggioso ad impiegarli tutti a formare un solo circuito, destinato al solito uffizio.

Avrei anche una parola da dire sul silenzio che M. Becquerel tenne a mio riguardo la prima volta ch'egli pubblicò la descrizione sommaria del galvanometro a due aghi (*Ann. Tom. XXXI pag.* 374); ma senza indagare i motivi di quell'ommissione mi limiterò ad osservare che le complicazioni finora introdottevi non sono tali da migliorare l'istrumento. Gli tolgono la semplicità senza procurargli in cambio alcun altro vantaggio: imperfezione che mi studio di far conoscere sul timore, che il nome autorevole di M. Becquerel la faccia giudicare altrimenti.

tre le medesime correnti dirette sulle rane meglio preparate e più irritabili non valgono a produrre su di queste la benchè minima impressione. Bisogna dunque distinguere: o si tratta di correnti idro-elettriche, nel cui circuito entra sempre qualche conduttore di seconda classe, e per queste la rana è un esploratore più delicato del galvanometro; o si tratta di correnti, che si possono, come le termo-elettriche, mantenere sopra circuiti interamente metallici, e per questa specie un mediocre moltiplicatore è senza confronto più sensibile della rana più vivace. Del rimanente, non così tosto si fa entrare ne' circuiti termo-elettrici un conduttore di seconda classe, che la corrente diviene in certo modo idro-elettrica, e la rana ritorna ad essere più sensibile del galvanometro. Dopo questa distinzione il miglior partito, a cui possiamo appigliarci, è di famigliarizzarci maggiormente coll' istromento della rana; mezzo, è vero, d' esplorazione da gran tempo conosciuto, ma che richiama di nuovo la nostra attenzione pei servigj, che la scienza è tuttavia in diritto di esigere da esso.

Nuovo metodo di servirsi della rana.

La corrente della rana ha una certa direzione ed una certa forza che si può distruggere col dirigervene contro un' altra d' eguale intensità. Prepariamo due rane nella solita maniera, e poi compiamo con esse sole il circolo galvanico col portare a reciproco contatto il nervo dell' una col muscolo dell' altra. Le rane si contraggono amendue in questo caso. Rimangono invece tranquille quando s' inverte la disposizione dei contatti, toccando il nervo col nervo ed il muscolo col muscolo. In tal caso le forze elettro-motrici delle due rane agiscono in senso contrario, e manca l' effetto della corrente come manca sotto l' azione di due elementi voltaici disposti in senso inverso.

Sinchè la rana si scuote per la virtù della propria corrente, essa gode di tutta la sua sensibilità: qualità preziosa di cui bisogna saper profittare nelle sperienze della massima delicatezza. Il tempo, in cui la rana si mantiene così vivace, non è peraltro tanto breve, come taluno potrebbe presumere; d' ordinario esso dura parecchi minuti, ed il fisico può bene in quest' intervallo eseguire diversi esperimenti. L' osservatore ha da mettersi in guardia contro una sola sorgente d' errori, l' influenza cioè della corrente propria della rana. Il modo migliore di garantirsi da quest' azione mi parve in sulle prime quello di distruggerla a dirittura con una seconda rana disposta in senso contrario della prima; ma l' esperienza non tardò a provarmi che s' evitava bene in tal modo l' errore, ma che le rane così invertite non si scuotevano più sotto l' azione delle correnti debolissime. Rinunziai

dunque all' artifizio dell'inversione, e mi rivolsi invece ad un altro espediente, a quello cioè d'esplorare le correnti nelle loro due direzioni, facendole passare una volta dal muscolo al nervo, e l'altra dal nervo al muscolo. Nell' uno de' casi, io dissi, la corrente d'ignota derivazione cospirerà con quella della rana, che sappiamo andare *dai piedi alla testa*, ed in allora le contrazioni saranno più forti che nel secondo caso delle due correnti dirette l'una contro dell' altra. M' accorsi di fatti, all' atto pratico, che la differenza delle contrazioni, ne' due casi, era generalmente parlando abbastanza sensibile per manifestare l'esistenza d'una corrente indipendente da quella della rana; ma vidi pure che non si giudicava sempre con eguale sicurezza di quella diversità, e che nascevano talvolta certe anomalie le quali spargevano qualche dubbio ne' risultati. Desideroso d'evitare quest' altro inconveniente, senza perdere di vista la necessità di cogliere i momenti più preziosi, mi sovvenne che le correnti straniere scuotevano la rana anche alloraquando s'introducevano sul solo nervo. Si escluda dunque, io conclusi, dal circuito elettrico tutta la parte inferiore della rana, ed esperimentando sul nervo unicamente ci garantiremo dall' influenza della corrente propria della rana senza aspettare che questa perda alcun grado dell' originaria sua sensibilità. La deduzione fu confermata dal fatto. Le più deboli correnti introdotte sul solo nervo scuotono vivamente la rana, e l'effetto non è sicuramente dubbioso nella sua origine, perchè chiudendo il nervo dentro un arco omogeneo non accade mai alcuna contrazione. E quì giovi osservare che non è già necessario di portare, sul picciol tratto de' nervi crurali, amendue le estremità dell' arco che comprende in se le sostanze elettro-motrici sottoposte all' esperimento: vi se ne porta una sola; l'altra per più comodo s' immerge dentro un vaso che si fa comunicare, alla distanza che conviene, col tronco della midolla spinale. La presenza di quest' appendice non altera i risultati: essa non è in sostanza che la continuazione de' nervi crurali, la quale si conserva per facilitare le comunicazioni.

Scoperta che siasi l'esistenza d'una corrente, coll' introdurla sul solo nervo, resta da fissare la di lei direzione. Quest' altra ricerca è anch'essa di competenza della rana. Si profitta per questo della stessa sua corrente, introducendola, ora per un verso ed ora per l'altro, nel circuito della corrente che si riconobbe prima sul nervo. Le contrazioni che nascono ne' due casi, sono disegnali, e da questa differenza si deduce quando la corrente in questione va insieme con quella della rana, dai piedi alla testa, e quando ci viene incontro. Nel primo caso le contrazioni hanno una certa vivacità: nel secondo sono più deboli o nulle. Avvertimmo già che il criterio di questa differenza va soggetto a qualche fallacia: ora replicheremo lo stesso avviso, ma senza tacere che se la rana non risponde sempre, con eguale sicurezza al

questo della direzione delle correnti, pure non lascia nemmeno su quest' articolo gran cosa da desiderare.

RISULTATI DI VARIE ESPERIENZE

Durata della corrente della rana.

Le rane non si scuotono all' azione della propria corrente che per poco tempo: la loro corrente continua invece ad agire sul galvanometro per più ore. In quest'intervallo è ben da supporre che si spenga nella rana ogni residuo delle sue forze vitali; la lunga durata della sua corrente è quindi un fatto molto interessante per la fisiologia, in quanto che prova forse meglio d'ogni altro l'indipendenza delle forze elettro-motrici da quelle che sono inerenti alla vita.

Effetto elettro-magnetico di più rane.

La corrente della rana fa deviare l'indice del mio galvanometro d'un certo numero di gradi: in un esperimento ebbi la deviazione di 5.°. Messa nel circuito una seconda rana disposta nell'istesso senso della prima, la deviazione salì a 8.° L'aggiunta d'una terza rana portò l'ago fino ai 10.° Dunque l'effetto elettro-magnetico delle pile di seconda classe cresce col numero degli elementi: conseguenza importante per due motivi;

1.° perchè c'insegna, nelle nostre ricerche relative allo sviluppo dell' elettricità de' conduttori di seconda classe, a non limitarci al tentativo di un solo elemento: se un solo non move il galvanometro, parecchi possono produrre l'effetto desiderato.

2.° Perchè non combina colla legge del Prof. Marianini che nelle pile un solo elemento produce l'effetto elettro-magnetico di tutti gli altri. Egli è vero che nel caso di queste pile le correnti idro-elettriche sono di prima classe; ma nemmeno per questo io penso ch' esista una legge particolare per quelle di seconda. Io mi sono assicurato che in tutti i casi l'effetto elettro-magnetico cresce col numero degli elementi, quando la forza individuale di questi elementi è debolissima. Sarà dunque della bella legge di Marianini come di tante altre egualmente utili; sarà una legge d' approssimazione, fisicamente esatta dentro i limiti delle correnti ordinarie.

Correnti in caso di semplici combinazioni e decomposizioni chimiche.

Riempio due bicchierini che chiamerò A e B, con una soluzione di nitro; ed immergo in essi le estremità del mio galvanometro, le quali consistono in due laminette di platino. Prendo un terzo vaso e ci verso dentro un po' d'acido nitrico. Preparo quindi le comunicazioni con due archi d'ammianto o di cotone imbevuti nella stessa soluzione dei vasi A, B. Con uno di questi archi stabilisco la comunicazione fra la tazza dell'acido nitrico, e la soluzione d'uno dei due bicchierini, quello per esempio contrassegnato dalla lettera A. Tengo il secondo arco in mano dopo d'avere avvolto ad una delle sue estremità un bastoncino di potassa caustica, che rendo prima conduttrice umettandola leggermente colla soluzione dei recipienti A, B. Porto infine l'alcali a contatto dell'acido nitrico, all'atto stesso in cui immergo dentro il bicchierino B l'altra estremità dell'arco di comunicazione. Comincia subito l'azione chimica, e l'ago del mio moltiplicatore si trasporta, nel suo primo movimento, al di là di 40 o 50 gradi, indicando la presenza d'una corrente che va, nel liquido conduttore, dall'alcali all'acido. Invertendo gli archi di comunicazione, s'inverte pure la deviazione: prova ben sicura che la corrente in giro è dovuta all'azione delle due sostanze, acido ed alcali. Ho cura, prima e dopo dell'esperimento, d'assicurarmi dell'omogeneità delle lamine di platino attaccate all'estremità del galvanometro; e soglio, per maggiore sicurezza, aggiungere al circuito due altri bicchierini A', B' per tuffare dentro di questi gli archi di comunicazione. Le laminette di platino immerse ne'due primi bicchierini A, B vengono così interamente garantite da ogni sorte d'alterazione per parte dell'alcali e dell'acido esperimentati a così grande distanza da esse. Ad ogni evento si ha sempre nell'inversione delle comunicazioni una prova diretta per verificare il risultato.

La potassa caustica mi ha dato, come ho già detto, dei movimenti di 50.°: carbonata produce un minor effetto, ma tale però da spingere l'ago dai 15 ai 20.° La soda carbonata produce delle deviazioni d'un'ampiezza consimile: così pure la calce ordinaria.

In queste osservazioni, le sostanze alcaline e terrose erano allo stato solido: disciolte producono un effetto molto più debole, e ciò che è assai singolare, un effetto che è sovente inverso di quel che producono in istato di solidità. Quest'inversione mi è sembrata costante coll'acqua di calce; risultamento inaspettato, che studiato in tutte le sue parti condurrà forse ad una conseguenza non troppo favorevole allo spirito delle dottrine elettro-chimiche.

Ho esposto con qualche dettaglio questi primi risultati ottenuti colla dissoluzione di sal nitro dentro le tazze in cui pescano le estremità di platino del galvanometro, perchè questo è appunto il caso, su cui verte la questione principale fra Becquerel e Davy. Quest' ultimo non ottenne in quella disposizione alcun segno di corrente; e Becquerel ascrive questa nullità d'effetti alla circostanza particolare d'avere il Davy impiegato una dissoluzione di sal neutro per compiere le comunicazioni. Immergendo invece le estremità di platino del galvanometro dentro dell'acido nitrico o solforico, si hanno, assicura il fisico francese, delle deviazioni che vanno dai 6 ai 15.° (*Ann. de Chim. et Phys. Tom. XXXV pag.* 123). Io ho fatta più volte questa sostituzione ma senza guadagnare gran cosa nell'ingrandimento degli effetti. L'esperienza mi ha anzi insegnato d'evitare l'impiego degli acidi forti d'intorno alle laminette di platino; perchè egli è molto più difficile di conservarle omogenee là dentro, che in mezzo alle dissoluzioni saline. Dopo tutto questo mi sarà, io credo, permesso di pensare che a Davy sieno mancati i segni della corrente, non già per avere esperimentato in circostanze poco favorevoli, ma per cagion sola del suo galvanometro non abbastanza sensibile per un esperimento di quella delicatezza. Dirò lo stesso dell' istrumento di Becquerel; ma che pensare poi de' risultati positivi ottenuti da questo medesimo fisico in circostanze presso a poco consimili a quelle de' risultati negativi? Io non ardirò certamente d'impugnare verun fatto; ma dirò bene che se nascono de' dubbj su questo proposito, il solo Becquerel ce li saprà completamente risolvere, quando ci avrà fatto conoscere più distintamente la forza del suo galvanometro e le circostanze delle ultime sue verificazioni (1).

Coll' acido solforico si hanno degli effetti maggiori che coll' acido nitrico. Quest' acido coi carbonati alcalini e terrosi mi ha dato delle deviazioni di 15 a 20.°: sono invece di 20 a 25.° coll' acido solforico.

L' idro-clorato di barite e l' acido solforico hanno prodotto una deviazione di 10.° a 15.°

(1) A proposito di queste verificazioni Becquerel cita la sua esperienza dell' acqua ossigenata come una delle prove più incontestabili dello sviluppo delle correnti elettro-chimiche (*Ann. Tom. XXXV. pag.* 123. e 124). In tal caso una delle estremità del galvanometro è guernita d'un cucchiaio di platino, l'altra d'una spugna di questo stesso metallo. L' acqua ossigenata, nel decomporsi, sviluppa, come si sa, molto calore, il quale riscalda naturalmente più la spugna, suddivisa nelle sue parti, che non fa la massa del cucchiaio. Ora questa differenza di temperatura non basta ella forse a determinare la corrente elettrica indipendentemente da qualunque altra cagione? Direi quasi che il dubbio si converte in certezza dopo d' avere osservato che si eccita una corrente della medesima maniera, sia col riscaldare una delle due sottile lamine di platino attaccate alle estremità del galvanometro prima di tuffarle amendue nello stesso liquido, sia coll' immergervale prima nel loro stato naturale per versare poi un po' di liquido riscaldato dal lato di una di esse.

L'ammoniaca cogli acidi solforico e nitrico ha eccitato de' movimenti di 5.° a 10.°

L'acido solforico ed il nitrato di potassa producono un effetto molto considerabile: in questo caso i movimenti dell'ago sono stati di 20 a 25.° In tale esperimento le laminette del galvanometro erano immerse in una dissoluzione di sal comune.

L'acido tartarico ed il carbonato di potassa mi hanno dato una piccola deviazione di 5.° all'incirca.

Questi risultati non sono a tutto rigore comparabili fra loro; perchè non sono stati ottenuti in parità di circostanze. Ad ogni modo possono servire a dare un'idea delle combinazioni più o meno efficaci. Le sostanze più attive non sono già, in generale, quelle dove l'azione chimica si manifesta nel modo il più energico. L'acido solforico agisce, per esempio, in silenzio sopra il nitrato di potassa, eppure si eccita in questo caso una corrente più forte di quella che producono i carbonati, coi quali l'effervescenza è così viva.

Correnti in caso di semplici dissoluzioni.

Ho ottenuto queste correnti in diversi casi: ecco i principali.

Acido solforico e { *Solfato di rame*
Sopra solfato di potassa
Sopra solfato di mercurio

Acido nitrico e nitro.

Quest'ultima combinazione produce una corrente molto debole. In ogni caso le correnti vanno dai sali agli acidi, e producono, in generale, de' movimenti di 10.° all'incirca. I sali erano cristallizati.

Correnti in caso di doppie decomposizioni.

Ho avuto alcuni indizj di queste correnti tanto dalla rana come dal galvanometro; ma essi sono debolissimi, e mancano spesso per circostanze imprevedute. Non saprei indicare precisamente i motivi di queste anomalie; ma credo che derivino, per la più parte almeno, dalla terza sostanza che, per conservare omogenee le estremità del galvanometro, siamo obbligati d'introdurre nel circuito, oltre le due che formano il soggetto dell'esperimento. Sorge quindi qualche dubbio sulla legittimità de' risultati, e converrà perciò ricorrere a nuove esperienze prima di prestare fiducia ai segni ch'io ho ottenuti.

Ecco le combinazioni da me esperimentate.

Acetato di piombo e solfato di zinco.

Idroclorati di barite e { *Solfato di potassa*
« *di magnesia*
« *di soda*

Idroclorato di calce e carbonato di potassa.

I segni meno equivoci gli ho avuti nel secondo caso dell' idro-clorato di barite coi solfati. I solfati erano disciolti, e l'idroclorato in istato solido quando la corrente era più marcata. La sua direzione era dall'idro-clorato al solfato; ma qui nasce un altro dubbio; giacchè quando uno de' sali non è disciolto, può sempre sospettarsi che l'effetto elettro-dinamico si associ piuttosto all' atto della dissoluzione che alla circostanza dello scambio delle basi.

Correnti termo-idro-elettriche.

Dopo d' avere verificata l' esistenza delle correnti ne' casi or ora mentovati, non resta, a quel che mi pare, da ottenere che un qualche indizio delle correnti *termo-idro-elettriche*, intendendo d'applicare questo nome alle correnti eccitate sui conduttori di seconda classe col mezzo del semplice calore, appunto come si fa ne' circuiti interamente metallici del Dott. Seebek. Ho fatto diversi tentativi per ottenere quest'ultima specie di corrente; ma non mi si sono finora presentati che dei risultati equivoci. M'occuperò di nuovo di questa ricerca, che io reputo della più alta importanza, perchè parmi che da essa dipenda la soluzione d' uno de' più gran problemi della fisica terrestre. Alludo al magnetismo terrestre, pel quale, come si sa, è necessario di stabilire un fatto solo, l'esistenza cioè di correnti elettriche dirette dall'oriente in occidente, secondo il giro apparente del sole. Infatti se l' azione del solo calore, applicata disegualmente alle parti d'un circuito composto tutto di conduttori di seconda classe, bastasse ad eccitare una corrente diretta dalle parti calde alle fredde, il fisico sarebbe autorizzato a servirsi di questo fatto per risolvere quel gran problema, dicendo che la terra non è altro se non che un gran circuito *termo-idro-elettrico* mantenuto in continua azione dal sole, il quale riscaldando prima le regioni orientali delle occidentali fa sì che le prime parti abbiano sempre a considerarsi come le più calde rispetto alle seconde. L' applicazione, come si vede, è troppo interessante per non impegnarci a stabilirla sopra una base che non lasci nulla da desiderare.

Reggio li 3 Novembre 1827.

NOTA

Ho ottenuto questa mattina, sopra de' bastoncini d'argilla, de' segni distinti delle correnti termo idro-elettriche. Esse vanno, com'io presumeva dal caldo al freddo. Darò i dettagli di quest' esperienza tosto che l'avrò ripetuta e variata ne' debiti modi. Se si riesce, come spero, di fissare solidamente questo risultato non si tarderà forse molto a dimostrare che le diverse specie di correnti sono tutte della medesima natura, vale a dire *termo-elettriche*.

Reggio 9. *Novembre* 1827.

Digitized by Google

MODO D' OTTENERE

LE

CORRENTI TERMO-IDRO-ELETTRICHE

Preparo le comunicazioni col galvanometro al modo usitato, vale a dire coll' immergere le sue estremità di platino dentro due tazze A, B piene d' una dissoluzione salina, per esempio di nitro o sal comune. Per più comodo e sicurezza aggiungo al circuito due altre tazze A', B'; la prima dal lato di A, e la seconda dal lato di B: sono anch' esse piene dello stesso liquido conduttore, e comunicano, A' con A, e B' con B, mediante due archi d' ammianto o di cotone inzuppati nella medesima loro soluzione. Prendo in seguito della pasta d' argilla (l' ordinaria de' vasellaj), e ne formo varj bastoncini o cannette della lunghezza di 2 in 3 pollici, e del diametro di tre o quattro linee. L' esperimento si eseguisce con due di questi cilindri, i quali sebbene sieno pastosi, pure conservano, quanto basta, la loro forma per le operazioni che seguono. S' avvolge d' intorno ad una delle estremità di ciascuno de' due bastoncini un cordonetto di cotone inzuppato nella soluzione delle tazze di comunicazione, e poi delle due estremità libere se ne riduce una in forma di punta, che si riscalda in appresso sopra la fiamma d' una lampada sintanto che si asciughi alcun poco ed acquisti un certo grado di consistenza. Si porta in fine questa punta così riscaldata contro l' estremità fredda dell' altro bastoncino, e vi si spinge dentro qualche poco per aumentare i punti di contatto: nell' istesso tempo si tuffano, dentro le tazze A', B', i cordoncini avvolti prima all' estremità dei due bastoncini. Così si compie il circuito, e l' indice del mio galvanometro indica, con un movimento di 5 a 10.° la presenza d' una corrente che va dalla parte calda alla fredda.

L' esperimento riesce con qualunque sorta d' argille. Ho provato alcune altre sostanze terrose, come la calce, la barite, il gesso ec.; ma non mi è riuscito d' ottenere con esse alcun effetto distinto. Ho motivo di credere che ciò derivi da difetto di conducibilità. L' argilla s' imbeve di molt' acqua e la conserva tenacemente; le altre terre ne succhiano di meno, e l' abbandonano facilmente all' atto del riscaldamento, perdendo con ciò la facoltà di condurre le correnti elettriche.

I bastoncini d' argilla producono il fenomeno anche seccati prima, ed inumiditi dopo alla semplice loro superficie. In tal

caso l'effetto è più debole ma non equivoco. Egli è così che ho avuti i primi segni distinti delle correnti termo-idro-elettriche.

Ho verificato il fatto sul nervo della rana, conformemente al metodo che indicai nell'articolo precedente (pagina 73.) Per verità questa stagione non è la più propria per esperimentare sulle rane, rese dal freddo poco sensibili all'azione dell'elettricità. Con tutto ciò qualcuna delle meno intorpidite mi ha dato segno della corrente di cui si tratta.

Gl'indizj più marcati si hanno al momento in cui la punta riscaldata penetra dentro la parte fredda. Qualche volta i movimenti del galvanometro superano anche i 10.°. Distruggendo i contatti e rinnovandoli di quando in quando si ha occasione d'osservare che la corrente s'indebolisce sì a misura che scema il calore, ma ch'essa dà tuttavia indizio di se quando l'argilla è giunta al grado d'un leggierissimo tepore. Abbiamo già notato altrove il servigio, che si era in diritto d'attendere dalla scoperta delle correnti termo-idro-elettriche. Ma ora l'osservazione diretta che basta ad eccitarle, nell'argilla inumidita, un calore moderatissimo, rende completa l'analogia di questo piccolo risultato col grande del magnetismo terrestre. L'argilla è disseminata in gran copia da per tutto: dovunque, essa è più o meno umida, ed il sole, col riscaldarla prima nelle regioni orientali che nelle occidentali, trasforma quella gran massa in un circuito termo-elettrico dove la corrente va dall'*est* all'*ovest*; come appunto richiede l'interpretazione di quel gran fenomeno.

Il fatto delle nuove correnti non si limita nelle sue applicazioni, al magnetismo terrestre. Vedremo forse in grazia sua, riunirsi sotto un solo punto di vista le correnti elettriche, distinte sin ora in più specie. Ma questo è un soggetto che merita d'essere sviluppato, e noi lo riserbiamo per un articolo a parte che comunicheremo quanto prima.

Reggio 23 *Novembre* 1827.

SULLA NATURA
DELLE
CORRENTI ELETTRICHE

La scienza conta differenti specie di correnti elettriche; ma per lo scopo che abbiamo in vista, noi dobbiamo cominciare dallo stabilire, a loro riguardo, una sola distinzione. Nelle correnti che conosciamo o vi è azion chimica o non vi è: chiameremo quest' ultime *correnti senza azion chimica*, chiameremo l' altre, *correnti con azion chimica*, senza imbarazzarci per ora di sapere quale influenza questa medesima azione eserciti nel fenomeno. La divisione abbraccia tutte le correnti: appartengono alla prima specie le correnti termo-elettriche del D. Seebek eccitate sopra circuiti interamente metallici, e l' altre della stessa natura ch' io ho, per il primo, ottenute sui conduttori di seconda classe. La seconda specie comprende poi tutte le correnti voltaiche, qualunque sia la natura del conduttore umido che le eccita. Le così dette correnti elettro-chimiche, che si sviluppano all' atto in cui un acido agisce sopra d' un alcali, appartengono alla medesima specie, ma che meritino o no un tal nome, è questione che rimarrà sciolta in seguito. Non si tratta in questo corto preambolo d' entrare nello spirito d' alcun sistema: vuolsi unicamente stabilire una distinzione che regga in ogni caso, e che ci ajuti a sviluppare con un cert' ordine il nostro soggetto.

ARTICOLO I.°

Correnti senza azion chimica.

In queste correnti la forza elettro-motrice consiste evidentemente nel calore, motivo per cui si distinsero col nome di *termo-elettriche*: esse si verificano in quattro casi differenti.

I.° CASO

Circuiti d' un solo metallo.

Il filo de' nostri galvanometri ordinarj è di rame, e si sa come su questo filo si ecciti la più semplice delle correnti termo-elettriche. Si arroventa una delle estremità di quel filo alla fiamma d' una lampada: indi si tocca bruscamente questo capo così rovente coll' altro non riscaldato, e l' ago dell' istrumento indi-

ca, col suo movimento, una corrente che va dalla parte riscaldata alla fredda.

Attaccando alle estremità del galvanometro due fili d'un altro metallo, ed operando su questi prolungamenti, come sul rame, si hanno de' risultati egualmente decisivi, quantunque il circuito si trovi in allora composto di due metalli differenti. Posto infatti che le porzioni del filo aggiunto all'estremità del galvanometro sieno di una certa lunghezza, ben si vede che l'efficacia del calore non si estende al filo dell'istrumento, il quale, esercitando in tal caso le sole funzioni di conduttore, non serve ad altro che a compiere il circuito. Mi sono assicurato con un tal mezzo che il bismuto, il platino, l'oro, l'argento, il piombo e lo stagno si comportano come il rame, determinandosi in essi una corrente che va dall'estremità riscaldata alla fredda. L'effetto varia per altro d'intensità da un metallo all'altro: nel piombo e nello stagno è molto più debole che in tutti gli altri.

Lo zinco, il ferro, e l'antimonio producono il fenomeno inverso, una corrente cioè che va dalla parte fredda alla riscaldata. Giova quindi distinguere i metalli in due classi, secondo il senso della corrente ch'essi mettono in giro quando sono riscaldati. Scegliendo all'uopo le solite denominazioni di *positivo* e *negativo*, diremo *termo-elettrici positivi* i sette primi metalli dove la corrente va dal caldo al freddo, e *termo-elettrici negativi* gli ultimi tre dove la corrente va dal freddo al caldo.

Non saprei dedurre dalle mie esperienze l'ordine preciso, secondo cui vanno disposti i metalli rispetto al grado delle loro proprietà termo-elettriche. M. Yelin li dispone come segue: i segni *più* o *meno* che accompagnano ciascun metallo, non si trovano nella scala di quel fisico; ve li ho aggiunti io perchè non si perda di vista la distinzione dei metalli termo-elettrici in positivi e negativi.

Scala termo-elettrica di M. Yelin.

Bismuto	+
Antimonio.	—
Zinco	—
Argento	+
Platino.	+
Rame.	+
Ottone	+
Oro.	+
Stagno	+
Piombo	+

Non ho nulla da dire contro di questa scala, la quale sarà

Digitized by Google

forse esattissima dentro certi limiti di temperatura (1): non mi maraviglierei per altro che avesse in seguito a soffrire qualche alterazione nella sua parte centrale. Alle estremità, gli effetti così distinti da potere assicurare che le proprietà termo-elettriche sono (indipendentemente dal segno) al massimo grado nel bismuto e nell'antimonio, ed al minimo nel piombo e nello stagno.

Ma checchè sia di questo grado ne' metalli intermedj, certo è che la corrente termo-elettrica è, in ciascun circuito, tanto più intensa quanto maggiore è il salto di temperatura fra le parti riscaldate e le fredde. Ma dove potremmo noi presumere di ritrovare il massimo di questi salti? Sul metallo forse che fosse a un tempo stesso e il più infusibile ed il meno conduttore del calorico. Già si sa che queste due proprietà non vanno di pari passo; ed è ben evidente che dove si combinassero al più alto grado, ivi per appunto potrebbe introdursi il massimo sbilancio di temperatura fra le parti attigue dello stesso circuito. Che se si conoscesse in numeri il grado preciso di conducibilità e d'infusibilità che appartiene a ciascun metallo, non si andrebbe forse molto lontani dal vero a calcolare il termo-elettricismo in ragione composta dalla diretta dell'infusibilità e dall'inversa della conducibilità.

II.° CASO

Circuiti di più metalli.

Il bismuto è il metallo termo-elettrico il più positivo, l'antimonio il più negativo. Posto dunque che questi due metalli entrino in un circuito e che nel riscaldarli in una delle loro giunture, l'uno non servisse che a condurre la corrente propria dell'altro, s'avrebbe in quella combinazione la coppia termo-elettrica più efficace. Così è difatti, come ben sanno i fisici. Questa legge, che può dirsi *di reciproca conducibilità*, si verifica in molti altri casi; ma in alcuni altri sembra modificata da qualch'altra condizione. Se la suddetta legge fosse la sola che influisse sulla direzione ed intensità delle correnti de' circuiti composti di più metalli, esisterebbe una corrispondenza esatta fra i due ordini che seguono.

(1) *Bibl. Univ.* Tom. XXXIV. pag. 256.

I.		II.
Bismuto	+	Bismuto
Argento	+	Platino
Platino.	+	Piombo
Rame	+	Stagno
Oro	+	Oro
Stagno	+	Argento
Piombo.	+	Rame
Zinco.	—	Zinco
Ferro.	—	Ferro
Antimonio. . .	—	Antimonio.

Il primo ordine si è quello di M. Yelin, avuto riguardo al segno delle correnti. Vi ho aggiunto il ferro e tolto l'ottone per avere gli stessi metalli nelle due colonne. La prima colonna ci dice che il bismuto è più termo-elettrico dell'argento, che l'argento lo è più del platino, ec. ec. Il secondo ordine tratto da un bel lavoro di M. Becquerel, indica la direzione che prendono le correnti nelle diverse coppie (1). Il bismuto la dirige verso il platino, il platino verso il piombo, il piombo verso lo stagno ec. ec. . . .

Le due scale corrispondono esattamente sul principio, sul mezzo, e sul fine. Questa corrispondenza non saprebbe essere fortuita: essa si spiega colla legge della reciproca conducibilità. Ma il piombo e lo stagno sono sicuramente al loro posto nella scala di M. Yelin, e secondo quella legge dovrebbero trovarsi nella scala di M. Becquerel subito al disopra dello zinco. Si trovano invece molto più alto: il che prova ch' essi esercitano un' altra influenza oltre quella della reciproca conducibilità. Non ci sarà difficile di prevedere la natura di questa nuova condizione quando saremo giunti alla fine della nostra analisi; ma sin d'ora ci sarà permesso di supporla tutta calorifica, dipendente, per esempio, dal modo con cui si distribuirà il calore sulla giuntura de' due metalli eterogenei: distribuzione che soffrirà pure un' alterazione per ciò solo che manca l'omogeneità delle parti nel luogo del riscaldamento.

E quì cade in acconcio di riferire un'altra specie d'anomalia che fu già notata da M. Becquerel, e ch'io ho avuto campo di verificare più volte nel corso delle mie esperienze. Col rame ed il ferro si forma un elemento termo-elettrico, in cui la corrente va dal rame al ferro, sinchè il calore applicato ad una delle loro giunture non oltrepassa un certo grado. Sotto l'azione d'una temperatura più elevata la corrente s'inverte, dirigendosi dal ferro al rame.

(1) *Ann. de Chim. et Phys.* Tom. XXXI. (an. 1826.) pag. 387.

Digitized by Google

La legge colla quale si propaga il calore sopra d'una verga, riscaldata da un capo, è prossimamente rappresentata da una logaritmica. Ma chi sa quali e quante sono le variazioni che subisce questa curva nelle temperature molto elevate, e chi sa sino a qual segno crescono le complicazioni sull' unione di due metalli differenti? Si dee senza dubbio tener conto di tutti gli accidenti che si presentano nella classe delle correnti termo-elettriche; ma per discuterli con cognizione di causa, e farsi caso delle anomalie bisognerà attendere che la scienza faccia de' progressi da un altro lato. Alludiamo manifestamente alla legge colla quale si propaga il calore dentro alle viscere de' corpi: legge troppo imperfettamente conosciuta per lusingarsi d' attaccare, con qualche speranza di successo, un genere di quistioni che sembrano dipendere immediatamente da essa.

III.° CASO

Circuiti umidi.

Quando si portano a contatto le estremità di due cilindri d' argilla, dopo d' averne riscaldato uno, si determina una corrente che va dall' estremità riscaldata alla fredda all' atto in cui si compie con essi il circuito del galvanometro. Le precauzioni che si usano in quest' esperimento non lasciano dubbio sull' origine della corrente: essa deriva dalle parti dell' argilla diversamente riscaldate; nè il filo del galvanometro, e l' altre appendici ch' entrano nel circuito, esercitano altro uffizio che quello di conduttori. L' esperimento riesce infatti anche sul nervo della rana, nel qual caso resta escluso dal circuito qualunque sorta di metallo.

Ne' circuiti metallici la corrente termo-elettrica ora va dalla parte calda alla fredda, ed ora dal lato opposto. Questa differenza non sembra sussistere sui conduttori umidi. Si bagnino infatti i bastoncini d' argilla con varie sorta di soluzioni saline ed acide, e si troverà in ogni caso che la corrente segue la direzione che si accennò sin da principio, dal caldo cioè al freddo.

IV.° CASO

Circuiti misti.

Supponiamo d' avere attaccate all' estremità del filo del galvanometro due laminette di platino. Mettiamole dentro una tazza vuota ad una certa distanza l' una dall' altra, e poi versiamo sopra ciascheduna d' esse un getto d' acqua, che sia bollente da un lato e freddo dall' altro. Dal movimento dell' indice del gal-

vanometro vedremo che si determina in tal caso una corrente che va dal lato dell' acqua calda alla fredda.

Si ottiene lo stesso effetto in un' altra maniera. Si riempie la tazza d' acqua fredda, e poi vi si immergono dentro le due laminette di platino dopo d' averne riscaldata una dentro dell' acqua bollente. In amendue i modi la corrente dura pochissimo, e non lascia alcuna traccia di se sopra le due lamine, le quali si trovano dopo il fatto così omogenee come prima. Questa circostanza sembra escludere qualunque siasi concorso d' azion chimica fra le lamine ed il liquido conduttore; giacchè sotto quest' azione, le lamine perdono sempre più o meno della primitiva omogeneità, e divengono elettro-motrici (1).

Questa considerazione aggiunta alla marcia del fenomeno che nasce col calore e svanisce con esso, sembra tale da lasciare pochi dubbj sulla natura termo-elettrica della corrente. Ma si può bene mettere in questione il luogo dove il calore agisce come forza elettro-motrice; giacchè il circuito viene a compersi di quattro elementi diversi,

1.° Platino caldo.
2.° Acqua calda.
3.° Acqua fredda.
4.° Platino freddo.

Prendendo per altro di mira l'esperimento più semplice, quale si è quello di riscaldare una delle lamine prima di tuffarle amendue nell'acqua fredda, si vede che il maggior salto di temperatura viene a cadere fra la lamina calda e lo strato d' acqua in cui s' immerge; onde per la natura stessa delle correnti termoelettriche dovrà presumersi che la corrente prenda le mosse da questo luogo piuttosto che da qualunquesiasi altro. E questa nel momento l' opinione più probabile: la vedremo forse crescere di valore in seguito.

(1) I fili di platino attaccati al galvanometro non così tosto hanno servito, dentro ad un liquido, a compiere il circuito d' una corrente, ch' essi manifestano la proprietà d'eccitarne un'altra contraria a quella che passò per essi un momento prima. Io aveva esternato su questo fenomeno un' opinione, a cui era per rinunziare quando vidi in un articolo di De-La-Rive che quella proprietà non si limitava, sui conduttori metallici, alle porzioni ch' erano state immerse nel liquido (*Bibl. Univ.* Tom. XXXV pag. 94). La cagione del fenomeno consisteva, secondo me, in un eterogeneità prodotta dai veli elettro-chimici che nella decomposizione del liquido si attaccano in un modo visibile od invisibile alle porzioni che vi erano state immerse (*Bibl. Univ.* Tom. XXXIV pag. 207). Ho cercato di verificare l' osservazione di M. De-La-Rive, ma quando ho condotto con una certa cura l' esperimento, non mi è mai riuscito di aver indizio di quella proprietà fuori delle porzioni immerse. Non avrei motivo di dubitare di questo risultato; ma la fiducia che inspirano i lavori di M. De-La Rive, è tale che sospendo per il momento ogni giudizio: aspetterò che l' illustre fisico di Ginevra si dichiari nuovamente su questo particolare.

ARTICOLO II.

Correnti con azion chimica.

Ne' circuiti di questa specie entra sempre un qualche conduttor umido, d'onde trassero il nome d'idro-elettrici. Diconsi poi di prima o seconda classe secondo che contengono o non contengono conduttori metallici. Noi abbiamo un' altra volta fatto uso di queste denominazioni: continueremo a servircene anche nel presente scritto.

Correnti idro-elettriche di prima classe.

È ormai ben provato qual è la condizione essenziale all'eccitamento di queste correnti: bisogna che il liquido conduttore agisca chimicamente sopra una almeno delle due parti metalliche con cui è in comunicazione. L'intensità degli effetti cresce poi a misura che l'uno de' due metalli è più attaccato dell'altro. Nè il principio voltaico dell'*eterogeneità de' metalli* figura in questa classe di fenomeni, se non in quanto si espongono così all'azion chimica dello stesso liquido due metalli che ne sono diversamente attaccati. È questo un fatto che sembra ora dimostrato all'ultima evidenza, ad onta dell'immenso rispetto che si dee alle opinioni contrarie dell'inventore della pila.

Tutte le esperienze concorrono a dimostrare un'altra verità; ed è che la corrente eccitata in virtù di quella diversa azion chimica si dirige, nel liquido conduttore, dal metallo più attaccato al meno attaccato, qualunque sia d'altronde la natura dell'uno e dell'altro. Questa legge non ammette eccezioni, o se ne ammette qualcuna, non cessa perciò di costituire un principio generale, coll'ajuto del quale si spiegano tutte o poco meno che tutte le anomalie. Molti fisici hanno coi loro lavori concorso a questo grande risultato: citerò per il primo Davy, indi i Sigg. Avogadro, Michelotti, Oersted, Becquerel, Yelin, De La Rive ec. ec.

Fissata in un modo così positivo la necessità dell'azion chimica nello sviluppo delle correnti voltaiche resta ora da vedere quali sieno le vere funzioni di quella medesima azione. Quì si possono fare due supposizioni: l'una che nell'azion chimica si sprigioni l'elettricità che si mette poscia in giro sul circuito; l'altra che l'azion chimica sia necessaria per ciò solo che induce uno sbilancio di temperatura analogo a quello da cui prendono le mosse le correnti termo-elettriche degli ultimi due casi dell'articolo precedente. Già sappiamo che in questi due casi le correnti vanno dal caldo al freddo; e tale è per appunto la direzione che tengono le correnti di cui ora parliamo, giacchè la

parte più attaccata dai liquidi conduttori è sempre quella dove si svolge più calore. L'idea è seducente; ma la differenza di temperatura che si determina sopra due metalli diversamente attaccati dallo stesso liquido, salirà dessa a un grado abbastanza elevato da crederla capace di dar moto alle correnti più forti che si conoscano? Ecco un esperimento istituito all'oggetto di rispondere a questa interrogazione, la quale diviene nel momento della più alta importanza.

ZZ, RR (Tav. II fig. 19) sono due laminette, l'una di zinco e l'altra di rame, raddoppiate in modo da lasciare nel loro mezzo un vuoto *z'*, *r'* di forma cilindrica. Le due lastre comunicano con due fili Z', R' alle estremità d'un galvanometro, e sono tutt'all'intorno chiuse con un mastice affine d'impedire ch'entri fra loro l'acqua acidula in cui hanno da pescare. Riempio le due cavità *z'*, *r'* con un po' di mercurio, e v'immergo dentro due piccoli termometri destinati allo scandaglio della temperatura a cui s'eleveranno le due lamine quando faran parte d'un circuito voltaico. Fisso poi in posizione verticale le due lamine ZZ, RR sopra il fondo d'una tazza, entro la quale verso finalmente dell'acqua acidula per compiere il circuito. L'esperienza comincia all'atto di questo versamento, ch'effettuo unicamente dopo d'avere verificata la temperatura dei tre elementi *zinco*, *rame*, ed *acido*, la quale debb'essere la medesima al principio dell'esperimento. I due termometri *z*, *r* servono ad indicare la temperatura delle lamine; se ne impiega un terzo *u* per riconoscere quella del conduttor umido. I risultati che ho ottenuti su questo piccolo apparecchio, sono registrati per maggiore chiarezza nel quadro che segue.

TEMPO delle OSSERVAZIONI		TERMOMETRO z (zinco)	u (umido)	r (rame)	GALVANOMETRO
Sul principio		11°	11°	11°	69°
	2 minuti	15 $\frac{1}{3}$	13	11 $\frac{1}{2}$	63
Dopo	4	18 $\frac{1}{2}$	17	13	61 $\frac{1}{2}$
	6	20 $\frac{3}{4}$	19	15	61
	8	22 $\frac{1}{2}$	21	16 $\frac{1}{2}$	61
	10	23 $\frac{1}{2}$	22	18	61
	12	24 $\frac{1}{2}$	23 $\frac{1}{2}$	19	61
	14	21 $\frac{4}{5}$	24 $\frac{1}{5}$	20	61
	16	25	25	20	61
	18	25	25	20	61
	20	24 $\frac{1}{2}$	25	20	60
	22	24	24 $\frac{1}{2}$	20	60

Sul principio dell'esperienza i termometri dello *zinco*, *umido* e *rame* segnavano tutti e tre la stessa temperatura di 11.°. In quel punto l'ago del galvanometro saltò bruscamente, come d'ordinario, al di là dei 90.°: il risultato dei 69.° segnato nella tavola fu preso a stima, dimezzando l'ampiezza delle successive sue oscillazioni. Le altre deviazioni furono osservate ad ago tranquillo. Esse provano che a riserva dei primi minuti la corrente si sostenne all'istesso grado d'intensità per tutto il tempo che durò l'esperimento. Non si valuta il calo delle due ultime osservazioni perchè la corrosione dello zinco era in allora inoltrata al segno che il mercurio della cavità *z'* cominciava a trapelare.

La marcia dei termometri è abbastanza regolare per con-

chiudere; 1.° che lo zinco si mantiene sempre ad un grado più elevato di temperatura del rame; 2.° che il calore dell' acqua resta in sulle prime al disotto di quello dello zinco, ma che alla fine lo raggiunge; 3.° che da questo punto in poi la temperatura è stazionaria ne' tre termometri. Nel nostro caso quest' effetto ebbe luogo verso il quindicesimo minuto. In allora la differenza di temperatura fra lo zinco ed il rame ascendeva a 5.°

Questa differenza non è a dir vero gran cosa, e per se stessa non sarebbe al certo capace di effetti elettro-dinamici d' una certa energia; ma da quella piccola differenza di 5.° al vero sbilancio di calore da cui essa deriva, vi ha un salto immenso. Tutto il calore che si diffonde per le varie parti del circuito deriva dall' azion chimica che l' acido esercita sullo zinco; eppure quest' azione è continuamente concentrata sopra una sola superficie, quella dello zinco che tocca l' acqua acidula. Da un solo strato emana dunque tutto il calore che si spande all' intorno; e se si hanno di lui segni così distinti sui termometri delle tre parti del circuito ad onta di quello che si disperde per l' aria, per la tazza dell' apparecchio, ec., si può con tutta la ragione argomentare che sia intensissimo in quello spazio così ristretto. Per aver un'idea esatta d'una tale intensità bisognerebbe possedere dei *termometri molecolari*, tali cioè da misurare il calore che si sviluppa sulle molecole dello zinco all' atto in cui vengono attaccate dall'acido. Manca attualmente alla scienza un tale istrumento, e forse le mancherà per sempre; ma nemmeno per questo scema in noi la convinzione che sullo zinco, si sprigioni un calore straordinario a misura ch'esso è attaccato dall' acido. In somma, diremo noi, di tutti gli strati del circuito uno solo è veramente *caldissimo*, quello dello zinco in preda all' azion chimica: gli altri strati si riscaldano tutti a questa sorgente di calore in ragione della loro vicinanza e conducibilità, ma siccome quel centro di calore è angustissimo, così ne tocca a ciascuno una scarsa porzione, sebbene parta da un luogo dov' è concentrato ad un grado difficile da concepirsi.

Non occorre nel momento sviluppare di più quest' idea: lascieremo alle osservazioni che seguono, il merito di chiarire la questione con un altro genere di prove.

Correnti idro-elettriche di seconda classe.

Sono tali le correnti che si eccitano nel contatto de' conduttori umidi. Le più marcate hanno luogo fra le sostanze acide e le alcaline, dove l' azion chimica è vivissima; ma ve ne ha delle molto distinte anche dove quell' azione è debolissima. Prova ne sia la corrente che si eccita fra il nitro e l' acido solforico. In parecchie dissoluzioni succede altrettanto: coll' acqua per esempio e l' acido solforico si ha una corrente più forte che in molti casi

della più viva effervescenza. All' atto delle doppie composizioni o non vi ha sviluppo di correnti, o queste correnti sono debolissime.

Ecco dunque una classe di fatti dove le correnti eccitate non sono più in ragione dell'azion chimica come lo sono nel caso de'circuiti ordinarj. Per iscoprire la natura della loro forza elettro-motrice osserviamo più da vicino l' effetto d' un acido e d' un alcali, e troveremo ch' essi producono, nel mio galvanometro, un movimento d' una cinquantina di gradi se l' alcali è allo stato solido, e di 5 a 10.° solamente se l' alcali è disciolto. Non basta: queste ultime deviazioni sono sovente inverse delle prime. Notai già a questo proposito ciò che accade costantemente coll' acqua di calce. Un bastoncino di questa terra messo a contatto coll' acido nitrico svolge una corrente che va dalla calce all' acido. L' acqua di calce produce al contrario una corrente che va dall' acido alla calce (pag. 76.)

A quest' inversione ora ne aggiungeremo un' altra dello stesso genere: L' acqua pura esperimentata sull' acido solforico, produce una corrente che va dall' acqua all' acido. Il ghiaccio invece produce nell' istesso caso una corrente che va dall' acido al ghiaccio. Si direbbe quasi che quì si rinnova il disordine delle correnti termo-elettriche del D. Seebek, non sapendo più come regolarsi per dedurre dalla natura delle sostanze il loro effetto elettro-dinamico. Ma se si riconoscerà, soggiungeremo subito, la forza elettro-motrice in una sola cagione, *lo sbilancio del calore*, sparirà probabilmente ogni sorta di confusione. Vi ha un principio generale che sembra regolare il corso di tutte le correnti idro-elettriche, ed è ch' esse vanno dalle parti più calde alle meno calde. Questa legge riguarda la direzione delle correnti: per l' intensità serve lo stesso principio che si è riconosciuto nelle correnti senza azion chimica, vale a dire che gli effetti crescono in ragione de' salti di temperatura introdotti ne' circuiti.

Così si comprende a dirittura come nella combinazione d'un acido e d' un alcali si abbia una corrente forte se l' alcali è solido, e debole se l' alcali è disciolto. L' azion chimica è pure egualmente viva in amendue i casi; ma nello stato solidn l' alcali si riscalda molto più che non fa quand' è disciolto. Si vede anzi in generale come nel contatto di due liquidi diversi la forza elettro-motrice abbia sempre o quasi sempre da riuscire debolissima, quantunque l' azion chimica possa fra loro essere delle più gagliarde. Secondo infatti la nuova ipotesi, non basta per produrre la forza elettro-motrice, di suscitare sopra un circuito uno sbilancio di calore: bisogna inoltre che questo sbilancio sia più forte da una parte che dall' altra. Ora all' uopo di produrre e mantenere per un certo tempo una tale diversità non si saprebbe scegliere una coppia meno favorevole di quella di due liqui-

di, tanto per la facilità colla quale si mescolano insieme, quanto per essere conduttori del calorico ad un grado presso a poco consimile.

Si comprende egualmente come possa esservi inversione di corrente per ciò solo che uno degli elementi del circuito cangia di stato, da solido a liquido. Il calore che si sviluppa nell'azion chimica di due sostanze, l'una liquida e l'altra solida, s'accumula di più sopra di quest'ultima che sulla prima, per la ragione che i corpi solidi conducono il calore meglio de' liquidi. Invece dunque di dire secondo il principio generale che le correnti idro-elettriche vanno dalle parti calde alle fredde, si potrà con pari ragione dire che quelle correnti vanno dalle parti solide alle liquide ogni qualvolta si verifichi, come pur succede generalmente, che gli elementi solidi si riscaldino più de' liquidi. Lo zinco, per esempio, delle pile ordinarie, si riscalda subito più dell'acqua acidula in cui pesca, e la corrente va da quel metallo al liquido. Così non vi ha frammento d'alcali, di terra e di sale da me esperimentato sopra d'un acido, che non m'abbia procurato l'occasione d'osservare lo stesso risultato, una corrente cioè diretta sempre dal solido caldo al liquido più freddo (1). Ma nel caso della reciproca azione di due liquidi, quale criterio avremo noi per giudicare della direzione della corrente che ne nasce? Nessuno. L'acido nitrico agisce per esempio sull'acqua di calce; ed in quest'azione vi ha sviluppo di calore; ma lo sbilancio è desso maggiore dal lato della terra disciolta o dell'acido? Se la calce non fosse disciolta, la questione sarebbe decisa a suo favore; ma in questo stato di soluzione resta sospeso qualunque giudizio: e ben si vede che nello stato attuale delle nostre cognizioni si avrebbe gran torto a maravigliarsi di questa specie d'anomalie.

Abbiamo già rammentato ciò che succede nel caso delle doppie decomposizioni. Le correnti elettriche sono in allora o nulle o debolissime. All'atto in cui due sali si scambiano le loro basi, l'azion chimica è nel suo pieno vigore; ma non vi ha in tale occasione sviluppo notabile di calore. Il fatto parla troppo chiaro per dispensarci dal commentarlo a favore della dottrina che stiamo sviluppando.

(1) Si è notato di sopra l'effetto del ghiaccio sull'acido solforico: in questo caso la corrente va dall'acido al ghiaccio. Il ghiaccio è sicuramente un corpo solido; ma vero è parimente ch'esso è l'elemento freddo, e l'acido l'elemento caldo; sicchè sussiste anche in questo caso singolare la legge che la corrente va dal caldo al freddo. Lungi dunque dal formare un'eccezione alla regola, l'esperimento del ghiaccio la conferma nel modo il più luminoso.

Conclusione

I.

Dall'esame di tutte le specie di correnti elettriche risulta che non vi ha corrente senza sbilancio di calore. Nelle correnti *senza azion chimica* del I. Articolo, lo sbilancio s'introduce nel circuito col mezzo del calore applicato artificialmente ad alcune parti del circolo Nelle correnti *con azion chimica* del II. Articolo lo sbilancio è prodotto da questa medesima azione. In ogni caso gli effetti seguono la marcia del calore, perchè nascono e si dissipano con esso, e perchè sono tanto più intensi quanto maggiori sono i salti di temperatura che si determinano ne' circuiti. Questi salti sono evidenti, e soggetti ad una certa misura nella maggior parte de' casi. Che se manca quasi interamente la risorsa di questa misura nelle correnti idro-elettriche di prima classe, supplisce ad un tale difetto il ragionamento col mostrare che laddove un acido attacca la superficie d'un metallo facilmente ossidabile, ivi debb'essere uno sviluppo straordinario di calorico. Non sembra dunque che sia più necessario di distinguere le correnti in termo-elettriche, idro-elettriche ed elettro-chimiche: saranno tutte *termo-elettriche*, e la *forza elettro-motrice* consisterà sempre in uno *sbilancio di calore.*

II.

L'intensità delle correnti sta, come si è già detto, in ragione dei salti di temperatura. È questa una legge che non sembra ammettere eccezioni. Non è così costante il principio che regola la *direzione* delle correnti. È bensì vero che nel maggior numero de'casi le correnti vanno dalle parti più calde alle fredde; ma vero è parimenti che marciano talvolta per contrario dal lato meno caldo al più caldo. Per non confondersi a questo riguardo converrà distinguere le correnti in due classi: saranno di prima classe quelle che compiono il loro giro in circuiti interamente metallici; di seconda classe le altre in cui entrano conduttori umidi. Per quest'ultime si verifica sempre o quasi sempre il principio che le correnti vanno dalle parti calde alle fredde; in quelle di prima classe la direzione ora è per un verso ed ora per l'altro.

III.

I segni d'elettricità positiva e negativa che si hanno dall'elettrometro nel distacco de'metalli eterogenei, non conservano, secondo queste nuove idee, alcuna relazione cogli effetti de'circuiti elettrici: è noto in generale che due corpi diversi fregati o

premuti insieme, s'elettrizzano in senso contrario: l'elettricità metallica di Volta sarebbe di questa medesima specie.

IV.

Non vi ha fregamento o compressione senza produzione di calore, nè sviluppo d'elettricità ne'cristalli elettrici senza premerli o riscaldarli. Si può dunque generaleggiare il principio, e dire che dal calore deriva sempre l'elettricità. Quest'elettricità continua poi a manifestare i suoi effetti in due stati differenti: o si trova sbilanciata precariamente alla superficie de'corpi, e produce allora i fenomeni così detti *delle atmosfere elettriche* o di *tensione;* od è in giro sopra de'circuiti compiuti, ed in allora produce i fenomeni *elettro-dinamici*. Nell'uno e nell'altro stato essa ha un istrumento particolare di misura: nello stato di tensione o di quiete ha *l'antico elettrometro*; in quello di movimento o di corrente ha il *nuovo moltiplicatore*.

V.

Parecchi filosofi esternarono da gran tempo l'opinione che l'elettricità non fosse che una modificazione del calore. Quest'idea, già per se molto verisimile, acquista ora un nuovo grado di probabilità. Dal momento infatti che basta un semplice sbilancio di temperatura per determinare, sopra i circuiti compiuti, l'effetto conosciuto sotto il nome di correnti continue, perchè non diremo noi che il fluido in giro è lo stesso calorico che tutti i corpi contengono? Il movimento parte dal primitivo sbilancio, e ciò che si è detto finora *corrente elettrica* non sarà forse in ultima analisi che una scarica di calorico la quale percorre tutto un circuito ora da una parte ed ora dall'altra secondo le circostanze. E si potrà ben dire che quel calorico in giro non sarà sensibile, come causa di calore, che allora quando partirà da una sorgente molto copiosa, nel qual caso produrrà i conosciuti effetti del riscaldamento e dell'incandescenza de' fili conduttori. In minor copia passerà naturalmente su questi fili senza crescere la loro temperatura, e si limiterà ai soli effetti che sono proprj d'una corrente.

Si è sempre opposto a questa maniera di vedere che l'influenza calorifica delle correnti elettriche si esercita istantaneamente a grandi distanze, mentre non è proprio del calorico di propagarsi attraverso i corpi meglio conduttori con una velocità così sorprendente. Ma l'obbiezione cade ora da se, riflettendo che non si tratta in questo caso della propagazione ordinaria del calorico che si fa con una certa difficoltà da strato a strato: si tratta d'una corrente di questo fluido che invade in un momento tutto un circuito, quando riceve, in date circostan-

ze, una spinta proporzionata a quest' effetto. Non riuscirà forse del tutto inutile ch' io spieghi con qualche dettaglio il modo con cui mi rendo ragione di questa specie di movimento. Fisseremo per maggiore chiarezza le idee sopra un circuito voltaico, composto dei tre soliti elementi rame, zinco, ed acido.

L' acido attacca lo zinco, e vi sviluppa sopra una dose considerabile di calorico. Questo fluido, che è in quel punto in tutta la pienezza della sua attività, s' irraggia in parte attraverso dell' acqua acidula, forse come se la superficie dello zinco fosse riscaldata in tutt' altra maniera: l' irraggiamento arriva rapidamente alla superficie del rame, e qui esso dà una spinta così gagliarda al calorico disseminato nelle viscere di questo secondo metallo, che ne obbliga una porzione a percorrere tutto il filo congiuntivo.

Io ho parlato d' *irraggiamento* per conformarmi alle idee comunemente ricevute, ma in quanto a me amerei molto meglio di adottare il sistema delle ondulazioni. Così comincierei dal non veder partire la prima onda di calorico dalla superficie dello zinco che quando quel fluido vi fosse concentrato al segno di vincere la resistenza che vi oppone la cattiva conducibilità del liquido. Sarebbe questa una specie di scarica che si effettuerebbe attraverso del liquido, e che appena giunta sul rame spingerebbe innanzi il fluido di questo metallo con tal impeto da obbligarne una porzione ad incanalarsi per la via del filo congiuntivo. L' azione chimica dell' acido sullo zinco è continua, e continuo per conseguenza lo sviluppo del calore in quel luogo. Le onde calorifiche non partirebbero per altro che a brevi ed eguali intervalli conforme alla natura di questo movimento. L' intermettenza non impedirebbe poi, quando così piacesse, di considerare continuo il movimento del calorico sul filo congiuntivo; giacchè le scariche delle onde potrebbero succedersi con tale rapidità da prevenire il caso dell' intermittenza.

Questo modo di concepire la forza che mette in azione i circuiti voltaici, si applica generalmente a tutti i casi; basta riflettere che da ogni sbilancio di temperatura introdotto sopra d' un circuito ne dee necessariamente derivare uno di questi due effetti: o il calorico sbilanciato tende a propagarsi equabilmente da amendue le parti, e non ci sarà in allora alcuna scarica di questo fluido proprismente detta, capace di compiere tutto il circuito; o quella tendenza sarà diversa, ed in allora il calorico può essere costretto a scaricarsi con violenza da un lato piuttosto che dall'altro, dopo d' essersi concentrato in un dato luogo in grazia della diversa conducibilità degli elementi del circuito.

VI.

La violenza di queste scariche varierà secondo i casi: ma in generale si vede dov'essa riuscirà maggiore. Questo succederà fra un buono ed un cattivo conduttore; non essendo possibile d'introdurre, fra due conduttori della stessa specie, degli sbilanci di temperatura così decisi come fra due conduttori d'ordine diverso. Di quì s'intende come le correnti del Dott. Seebeck abbiano così poca tensione in confronto delle voltaiche.

VII.

I metalli occupano il primo posto tanto come conduttori del calorico quanto come conduttori dell'elettricità. La cosa non può essere diversamente nel sistema dell'identità di questi due fluidi. La corrispondenza delle due conducibilità diventa invece una combinazione fortuita nell'opinione che l'un fluido sia essenzialmente diverso dall'altro.

I metalli riscaldati conducono le correnti elettriche meno bene che non fanno quando sono freddi. Anche questo fatto non può essere di più naturale nell'ipotesi di cui si parla: il calorico non è qui d'intoppo che ad una corrente dell'istessa sua natura. Nel sistema di due fluidi diversi il fenomeno rimane senza spiegazione.

VIII.

Dopo la scoperta d'Oersted ed i lavori veramente originali di M. Ampére abbiamo in fisica poche verità così bene dimostrate come l'identità del magnetismo coll'elettricità. In questo sistema una calamita non è altro se non che un corpo composto di particelle sopra le quali l'elettricità gira come fa in un circuito voltaico. Ma come giustificare l'idea di siffatte circolazioni sopra un circuito così semplice siccome è una molecola di ferro, di cobalto o di nikel? Non era forse possibile d'immaginare, per l'addietro, alcuna ipotesi soddisfacente; ma ora che le correnti elettriche sembrano composte di solo calorico, si può assegnare a questo fluido l'uffizio del magnetismo col farlo girare d'intorno alle particelle de' metalli magnetici. Così la differenza fra i corpi magnetici ed i non magnetici dipenderebbe da una sola condizione, da quella del calorico, che sarebbe capace di girare intorno alle particelle de' primi, ed incapace dello stesso giro sulle particelle de' secondi, per motivi dipendenti dall'intima costituzione de' corpi.

IX.

Ma se le correnti elettriche non sono altro che correnti di calorico, quale sarà la modificazione di questo medesimo fluido, atta a produrre gli effetti dell'elettricità ordinaria? Si può rispondere in diverse maniere; ma per farlo in un modo intelligibile e concludente bisognerebbe uscire di molto fuori de' limiti d' una semplice memoria: bisognerebbe compilare poco meno che un trattato completo d' elettricità. Non è questo il luogo d' un simile lavoro; come non lo è per discutere i principj delle dottrine elettro-chimiche. Basterà notare di volo il colpo, che queste teorie ricevono dall'osservazione generale che abbiamo registrata in questo scritto, parlando delle correnti elettriche che si sviluppano all'atto delle combinazioni chimiche. Tali correnti non sono, generalmente parlando, in relazione nè coll'intensità dell'azion chimica, nè colla natura de' così detti elementi *elettro-positivi* ed *elettro-negativi* che tendono a combinarsi insieme. Nessun risultato poteva, io credo, aspettarsi più contrario di questo allo spirito di quelle nuove dottrine. Chiusa mi pare ogni via di conciliazione colle idee comunemente ricevute intorno ai due principj distinti dell'elettricità e del calorico. Io non insisterò sulla convenienza di rinunziare a questa distinzione; ma conchiuderò dicendo che le diverse dottrine, le quali hanno pur tutte un lato vantaggioso, non aspettano forse altro che il momento di quella riforma per conservare la lor parte migliore e spogliarsi di tutto il rimanente.

Reggio 24 Decembre 1827.

NOTA

ALLA SUDDETTA MEMORIA

Dopo la compilazione di questo scritto ho eseguito diverse altre esperienze intorno a quella specie di correnti che si sviluppano all'atto delle combinazioni chimiche. I nuovi risultati che ho ottenuti, confermano i primi nel punto più essenziale, conducendo anch'essi alla conseguenza che le correnti che si eccitano nel caso di quelle combinazioni non sono in relazione nè coll'intensità dell' azion chimica, nè colla natura elettrica degli elementi. Noterò qui alcuni di questi ultimi risultati, scegliendoli fra il numero di quelli che mi sembrano più concludenti.

Acido ossalico e carbonato di potassa. Viva effervescenza, e corrente nulla o debolissima.

Acido ossalico e calce pura o carbonata. Corrente diretta

dall'acido alla calce, mentre la stessa calce esperimentata sugli acidi solforico, nitrico ed idroclorico, determina una corrente che va da essa calce all'acido.

Acido ossalico ed ammoniaca. Corrente che va, come sopra, dall'acido alla base.

Acido tartarico e calce. Corrente dall'acido alla terra.

Acido arsenico e calce. Corrente, come sopra, dall'acido alla base.

Acido solforico o nitrico, e idroclorato di calce. Azion chimica assai debole: corrente invece molto forte dal sale all'acido.

Acido idroclorico e solfato di magnesia. Niuna azion chimica fra il sale e l'acido: corrente invece piuttosto gagliarda dal sale all'acido.

Acido idroclorico e nitrato di potassa. Niuna azion chimica, e corrente mediocre dal sale all'acido, prossimamente eguale a quella che si sviluppa col *carbonato di potassa* su cui *l'acido idroclorico* agisce così vivamente.

Acido idroclorico ed idroclorato di calce. Niuna azion chimica: corrente invece delle più gagliarde dal sale all'acido; lo stesso con altri idro-clorati, come sono quelli di *potassa*, di *soda* e di *barite*.

Nel corso delle prime mie esperienze aveva osservato che quando si espone, all'azion d'un acido, una sostanza in due stati *solido* e *liquido*, la corrente che si eccita nel primo caso, è generalmente più intensa di quella che ha luogo nel secondo caso. Le ultime mie esperienze confermano questa legge, la quale è probabilmente una legge o generale o soggetta a poche eccezioni.

Aveva inoltre osservato nell'azion chimica fra un solido ed un liquido che le correnti andavano sempre dal solido al liquido. I nuovi risultati mi hanno presentato a questo riguardo una qualche eccezione. La calce, per esempio, esperimentata in istato solido sull'acido ossalico disciolto produce una corrente che va da quest'acido liquido alla terra solida. Ciò nulla meno non crederei che si dovesse rinunciare al principio che le correnti idroelettriche vanno dal caldo al freddo; perchè può darsi che in alcuni casi particolari il liquido faccia le funzioni di elemento caldo, ed il solido faccia quelle di elemento freddo, come succede nel caso, in cui si fonde del ghiaccio dentro all'acido solforico.

A proposito poi di quest'ultimo esperimento del ghiaccio deggio avvertire che l'acqua tanto in istato solido come in quello di liquidità, produce sugli acidi una corrente che va, sempre per lo stesso verso, dall'acido all'acqua. L'inversione che mi si era presentata nella serie delle prime mie esperienze, non sussiste: una qualche cagione straniera avrà influito su quel risultato senza che me ne accorga.

Sono anche ritornato sull'esperienza termo-elettrica dei due bastoncini d'argilla, ed ho avuto la soddisfazione di trovare un mezzo assai facile per ingrandire notabilmente l'effetto. Mi era in sulle prime limitato ad introdurre per poche linee la punta del bastoncino cáldo dentro all'estremità libera del bastoncino freddo. Ora lascio seccare alcun poco uno dei due bastoncini, e poi dopo d'averlo riscaldato fortemente per la lunghezza di uno o due pollici, introduco tutto questo pezzo dentro al bastoncino freddo schiacciandovi sopra la pasta molle di quest'ultimo. Così si hanno nell'indice del galvanometro, de' movimenti che giungono, nelle circostanze favorevoli, sino agli 80.°, mentre prima superavano difficilmente i 10°. Operando come ho detto, si moltiplicano considerabilmente i punti di contatto fra le parti dell'argilla calda e quelle dell'argilla fredda; ma forse l'aumento della corrente non dipende tutto da questa condizione così bene soddisfatta. Chi sa che una porzione dell'effetto non derivi dalla circostanza particolare d'essere il calore del bastoncino caldo introdotto *nel centro* della massa del bastoncino freddo? Il dubbio merita inflessione in quanto che potrebbe essere che alle variazioni di temperatura prodotte alla superficie del globo dell'azione solare s'unisse il *calore intestino* della terra, onde far salire il magnetismo terrestre a quel grado d'intensità ch'esso possiede realmente.

Reggio 6 Febbraio 1828.

Digitized by Google

SUL MAGNETISMO

DEI FILI

DE' GALVANOMETRI

Nella costruzione egualmente che nell'uso del mio galvanometro a due aghi, ho avuto occasione d'osservare un difetto che m'imbarazzò qualche poco prima di scoprire la vera sua origine. In questo istrumento il circolo graduato è collocato al disopra del telajo del moltiplicatore ed ha nel suo mezzo una fessura romboidale che corrisponde alla divisione 0.°, e nella cui direzione dee ridursi il piano degli aghi astatici prima di servirsi dell'istrumento. Questa riduzione non soffre alcuna difficoltà sinchè si tratta di conseguirla sopra due aghi che non sieno estremamente sensibili, il che succede quando il magnetismo dell'uno supera, d'un certo grado, quello dell'altro. Quando invece il magnetismo de' due aghi è uguale o presso che uguale, in allora non è più possibile di fissare il piano degli stessi aghi nella direzione della fessura romboidale. Si rappresenti in *oo* (fig. 20) quest'apertura: gli aghi si fermano in *sn*, od in *s'n'*, alla diritta cioè od alla sinistra della linea centrale *oo*: ed il divario non è già di pochi gradi: oltrepassa qualche volta i 15 e 20.°

Il galvanometro su cui osservai la prima volta delle deviazioni così notabili, aveva il telajo e la divisione in ottone. Sapendo che questa lega è bene spesso sensibilmente magnetica, sospettai che il difetto potesse derivare da essa. Soppressi quindi ogni pezzo d'ottone facendo di legno il telajo, e tracciando la divisione sopra d'un cartoncino; ma il difetto continuò a sussistere come prima. Pensai dopo che l'errore dipendesse dal filo di sospensione, il quale forse si torceva disugualmente quando tentava, col girare a mano la tavola dell'istrumento, di ridurre gli aghi alla giusta loro direzione. Onde togliere di mezzo questa seconda causa d'errore applicai al telajo del moltiplicatore un meccanismo col mezzo del quale io poteva farlo girare d'intorno al filo di sospensione, senza che questo si torcesse nè punto nè poco nell'operazione di ridurre gli aghi sulla divisione dei o.°. Ad onta di questa nuova precauzione gli aghi continuarono a fissarsi stabilmente fuori di quella linea. Mi persuasi in allora che l'effetto dipendeva da una cagione costante e precisamente dall'azione del filo di rame del moltiplicatore sugli aghi magnetici. M. Aragn scoperse già la grand'influenza ch'esercita su questi aghi quel metallo, sia ch'esso giri sotto di loro, sia che

questi vi oscillino al disopra; ma l'azione di cui si tratta non è di questo genere: essa sembra della medesima natura del magnetismo ordinario. In fatti che cosa succede egli ad un ago magnetico liberamente sospeso sopra l'intervallo, che separa due fili o laminette di ferro Ff, F'f' ? L'ago soffre bensì delle alterazioni eguali per parte de' fili di ferro, ma il suo equilibrio è instabile, ed esso tende subito a fissarsi stabilmente nella direzione *ns* o nell'altra *n's'*. Succede, io dico, altrettanto agli aghi del mio galvanometro: i giri che fa il filo di rame d'intorno al telajo, sono nella parte superiore divisi in due compartimenti che agiscono *magneticamente* sugli aghi in modo da non permettere a questo sistema di fissarsi stabilmente sulla linea centrale dell'istrumento.

Questa proprietà è comune a tutti i fili di rame che ho impiegati. Niuno di essi conteneva ferro in dose sensibile ai reagenti chimici. Disciolti difatti nell'acido nitrico, e versatovi sopra il prussiato di potassa, non si è mai riconosciuta traccia di coloramento in blu nella dissoluzione.

L'azione magnetica de' fili di rame è sensibilissima nelle più piccole masse. Sei o sette fili di questo metallo di 1/4 di millimetro di diametro uniti insieme a guisa d'un piccolo fascio, e collocati nel piano di due aghi astatici alla distanza d'un millimetro circa da questo sistema, strascinano seco i due aghi per più e più gradi quando vi girano al disotto. Arrivano a deviarli dalla linea del loro equilibrio di 15 a 20.° prima d'abbandonarli: deviazione enorme che ben dimostra come agli altri pregj gli aghi astatici aggiungano quello di scoprire ne' corpi le più deboli traccie di magnetismo meglio forse di qualunque altro mezzo magnetoscopico (1).

Dopo d'essermi assicurato del magnetismo de' fili di rame, m'interessava di conoscere quello de' fili di platino e d'argento per vedere se si poteva con essi rimediare in tutto o in parte al difetto de' primi. Non solo giova di ridurre gli aghi astatici sulla linea centrale del galvanometro per metterli in situazione da risentire egualmente l'azione delle correnti dirette ne' due sensi; ma il cambio de' fili di rame in altri meno magnetici interessa eziandio per un altro motivo, quale si è quello di accrescere la delicatezza dell'istrumento col diminuire l'attrazione magnetica fra gli aghi ed il filo del moltiplicatore.

I fili di platino esperimentati in piccioli fasci al disotto d'un sistema astatico esercitano un'azione più debole sì che quelli di rame, ma ancora discretamente sensibile: i fili d'argento esercitano invece un'influenza presso che nulla. Non era dunque dubbia la scelta: preferii subito il filo d'argento, persuaso che il galvanometro avesse con esso da riuscire più perfetto. Il risul-

(1) Vedi il II.° Volume all'articolo *Magnetoscopio*.

tato superò l'aspettativa. Non solamente gli aghi si riducono, in presenza del filo d'argento, sulla linea centrale del telajo, e vi si mantengono, ma di più la loro sensibilità diventa sei volte maggiore di quella che spetta agli aghi circondati dal filo di rame. Trovo infatti che le correnti le quali producono delle deviazioni di 1 a 2.° ne' galvanometri a filo di rame, ne producono delle altre di 6 a 12.° ne' galvanometri a filo d'argento.

Dopo quest'ultimo miglioramento ho pensato di dare alla macchinetta una forma portatile, e tale che unita a pochi pezzi accessorj possa comodamente servire alle ricerche più delicate ed interessanti. L'istrumento così ridotto riuscirà forse d'un'utilità più generale; ne darò la descrizione in un prossimo articolo, accompagnata da alcune brevi istruzioni intorno al modo di montare le diverse parti, e di servirsene col migliore successo (1).

Reggio 27 Marzo 1828.

(1) Vedi il II.° Volume all'articolo *Galvanometri*.

SULLA MISURA
DELLE CORRENTI ELETTRICHE
O PROGETTO
D'UN GALVANOMETRO COMPARABILE

Tutti sanno che il galvanometro è destinato alla misura delle correnti elettriche; ma chiunque sa egualmente che quelle misure non sono comparabili fra loro. Come istrumento di ricerca il galvanometro a due aghi, costruito secondo i miei principj, è sensibile, io credo, quanto si può mai desiderare; ma come istrumento di misura è ben lontano dal soddisfare ai bisogni della scienza: per quest'altro uffizio gli manca, innanzi tutto, la qualità più essenziale, la comparabilità. Da altra parte le sue indicazioni sono in *gradi*, e non si sa per nulla qual sia la forza effettiva della corrente in ciascheduna di quelle divisioni. Io ho fatto una lunga serie di esperienze e di tentativi, sia per arrivare a costruire de' galvanometri comparabili, sia per assegnare a ciascun grado della scala galvanometrica il valore numerico che gli corrisponde. Vorrei lusingarmi d'un qualche successo; ma il soggetto presentava molte difficoltà, nè io ardirò tanto da presumere d'averle superate tutte con esito eguale. Sarà già molto per me se ne avrò superate alcune, e se i fisici accoglieranno questo lavoro colla fiducia che sembranmi inspirare i resultati, a cui sono pervenuto.

La memoria è divisa in due parti; la prima è destinata al soggetto della comparabilità; l'altra al modo di convertire in numeri i gradi dell'istrumento.

PRIMA PARTE

Del galvanometro comparabile.

Il galvanometro che propongo alla misura delle correnti elettriche è rappresentato nella fig. 21.: esso si compone di due parti principali, d'un telajo cioè a quattro moltiplicatori, e d'un ago magnetico guernito d'un indice d'ottone. Si troverà alla fine, sotto un titolo speciale, la descrizione e misura de' varj pezzi dell'istrumento: quì ne diremo soltanto quel che occorre per intendere l'uso a cui sono destinate le due parti principali.

Telaio a quattro moltiplicatori.

Questo telajo è di legno e coperto da un cordone che fa soli quattro giri dentro alle sponde *mn*, *op* (fig. 22). Il cordone è fatto con quattro fili di rame, ricoperti prima di seta e poscia torti insieme. I fili sono tagliati della stessa lunghezza ed hanno lo stesso diametro. Così si procurano quattro moltiplicatori perfettamente eguali, perchè i fili, oltre di soddisfare alle altre condizioni, sono anche simmetricamente disposti d'intorno al telajo. Quando i fili di più moltiplicatori non sono torti insieme, la condizione della simmetria resta sempre un poco alterata.

Non occorre per l'uso ordinario, che uno solo de' quattro moltiplicatori. Gli altri tre sono aggiunti per diversi motivi che si faranno palesi in seguito.

Ago magnetico.

Non si tratta quì di costruire un galvanometro molto sensibile, per cui si esige indispensabilmente l'uso de' miei due aghi magnetici: si tratta di combinare un istrumento comparabile, esatto il più che si può. L'esattezza in questo caso va del pari colla semplicità; ed un ago solo conviene meglio dei due. Quello che ho adottato, si vede in *sn* (fig. 21) infilzato in un picciolo cilindro d'ottone *pq* che porta un indice *ii* dello stesso metallo. Il piccolo cilindro è composto di due pezzi che si uniscono a vite affine di ridurre facilmente l'ago e l'indice nel medesimo piano.

Per avere de' galvanometri comparabili bisogna che la stessa forza produca su di loro lo stesso effetto, od in altri termini che la medesima corrente faccia deviar l'indice di quegli strumenti del medesimo numero di gradi. Ora quest'eguaglianza di risultati dipende da due condizioni, l'una che i galvanometri abbiano de' moltiplicatori eguali, l'altra che gli aghi magnetici, su cui hanno da agire i moltiplicatori, sieno egualmente sensibili. La prima condizione si soddisfà facilmente col costruire de' telaj delle stesse dimensioni, e col coprirli allo stesso modo degli stessi fili: l'altra condizione richiede qualche cura maggiore; ma nemmeno essa è così difficile come sembra a prima vista.

Prendo una cinquantina d'aghi d'acciajo delle stesse dimensioni, e poi li calamito a saturazione con una grossa calamita. Esploro il magnetismo dei poli di ciascun ago col notare le deviazioni ch'essi fanno subire, in parità di circostanze, all'indice d'uno de' miei galvanometri. Dispongo gli aghi secondo l'ordine del loro magnetismo, e scelgo dal numero quel gruppo di aghi, che hanno dato le deviazioni medie. In questo gruppo ne trovo

sempre quattro o cinque che hanno una forza eguale o presso che eguale. Nella medesima categorìa ve ne ha un numero maggiore, dieci o dodici, che hanno un magnetismo un poco più gagliardo. Riduco anche questi alla forza dei primi col diminuire a poco a poco la loro energia strisciando sopra i poli più attivi il polo nemico d'una debole calamita. Amo meglio di replicare più volte quest'operazione con una calamita debole, che rischiare, con una calamita di maggior forza, di sottrarre dagli aghi più magnetismo di quel che occorre. Quando si è fatto un po' di pratica in questo genere di scandagli, è raro che occorrano più di quattro o cinque tentativi per ridurre gli aghi al magnetismo che si desidera. Non eseguisco mai l'operazione inversa d'infondere del magnetismo sugli aghi, che non ne hanno abbastanza, perchè nol conserverebbero. Gli aghi furono tutti calamitati a saturazione; più forti possono bene ridursi al magnetismo de' più deboli, e dopo conservarsi in questo stato; non così i più deboli, a cui non è concesso d'elevarsi al grado de' primi che precariamente.

Dopo d'essermi in tal modo procurato un buon numero d'aghi, 14 o 15, della stessa forza, li monto come essi hanno da servire, sull'asse cioè guernito dell'indice *ii* (fig. 21). Così preparati li fo deviare di 30.° dalla linea del loro equilibrio, e poi li lascio oscillare liberamente per due minuti: conto le oscillazioni doppie che si compiono in quest'intervallo, e trovo, che vanno dalle 32 alle 33 (1). La differenza è picciola cosa; pure resta da vedere se questo grado di precisione basta alla costruzione di galvanometri comparabili. Alcuni confronti decideranno questo punto che è il principale della questione.

Confronto de' galvanometri.

Ho preso due de' miei telaj a quattro moltiplicatori, che chiamerò A e B, e gli ho montati con due aghi *a*, *b* tolti dal numero di quelli ridotti prima allo stesso grado di magnetismo. L'ago *a* faceva 33 oscillazioni in 2'; l'ago *b* ne faceva esattamente lo stesso numero. Preparati così i due istrumenti li misi in comunicazione con un filo congiuntivo, e poi li provai sotto l'azione della medesima corrente fornita da uno de' soliti elementi voltaici. L'elemento era sospeso ad un meccanismo che permetteva d'immergerlo più o meno nell'acqua acidula: così somministrava le correnti della forza conveniente allo scopo dell'osservatore ch'era di confrontare i due istrumenti per un lun-

(1) Senza l'indice d'ottone si conta un'oscillazione di più, cioè a dire 33 o 34 in luogo di 32 o 33.

go tratto della loro scala. I risultati sono trascritti nella tabella seguente, dove i due galvanometri sono distinti colle lettere A*a*, B*b* per indicare che il moltiplicatore A era montato coll' ago *a*, ed il moltiplicatore B coll' ago *b*. Le frazioni di grado sono state prese a stima, ed i segni algebraici +, — aggiunti al numero de' gradi indicano che questo numero cresceva o calava d' una frazione più piccola di quelle che si potevano prendere a stima.

I°. CONFRONTO

a = 33 oscil. *b* = 33 oscil.

Immersioni successive	DEVIAZIONI		Differenze
	A*a*	B*b*	
1	55°	55° $\frac{1}{2}$	— $\frac{1}{2}$
2	45	45 $\frac{1}{3}$	— $\frac{1}{3}$
3	40	40 $\frac{1}{4}$	— $\frac{1}{4}$
4	35	35	0
5	30	30 $\frac{1}{3}$	— $\frac{1}{3}$
6	25	25 $\frac{1}{3}$	— $\frac{1}{3}$
7	20	20 +	—
8	15	15	0
9	10	10 +	—
10	5	5 +	—

Da questo confronto si vede che i due istrumenti sono stati paragonati per un intervallo di 55.° In questo tratto la massima differenza è di un mezzo grado. Le differenze hanno tutte lo stesso segno, ma vanno ora calando ora crescendo, per modo che i due strumenti si trovano perfettamente d' accordo in due punti differenti.

Le differenze possono nascere o dalla diseguaglianza degli aghi o dalla diseguaglianza de' moltiplicatori, o da queste due cagioni unite insieme. Per iscoprire la sede degli errori ho istituito un secondo confronto dopo d'aver invertito gli aghi, mettendo l'uno nel posto dell'altro. Nel I.° esperimento i due galvanometri erano disegnati colle lettere A*a*, B*b*; ora lo sono colle lettere B*a*, A*b* per denotare l'inversione degli aghi.

II.° CONFRONTO

a = 33 oscil. *b* = 33 oscil

DEVIAZIONI di		DIFFERENZE
B*a*	A*b*	
55	55 $\frac{1}{2}$	$-\frac{1}{2}$
45	45 $\frac{1}{4}$	$-\frac{1}{4}$
40	40 $\frac{1}{2}$	$-\frac{1}{4}$
30	30	0
20	20 +	—
10	10 +	—

Le differenze di questo confronto non combinano precisamente con quelle del I.°: pure il divario è così piccolo che si vede chiaramente d'onde procedono gli errori. I risultati più forti accompagnano l'ago *b*, ed i moltiplicatori A, B, seppure vi ha diseguaglianza fra loro, esercitano in ciò ben poca influenza. Io era in tal qual modo sicuro di questo risultato: ciò nulla meno doveva assicurarmene con un esperimento diretto per non aver più da pensare che agli aghi magnetici.

Gli aghi *a*, *b* facevano amendue un egual numero d'oscillazioni, ed il loro magnetismo poteva accidentalmente essere riuscito distribuito su di essi nel modo il più favorevole all'esattezza de' risultati. Misi per ciò alla prova tre altri aghi *c*, *d*, e, ed i risultati che ne ebbi, sono registrati nelle seguenti tabelle. L'ago *c* faceva 33 oscil., gli aghi *d*, *e* non ne facevano che 32:

III.° CONFRONTO

$b = 33$ oscil. $c = 33$ oscil.

DEVIAZIONI di		DIFFERENZE
A*b*	B*c*	
60°	59°	+ 1
50	49	+ 1
40	39	+ 1
35	$34\frac{1}{2}$	+ $\frac{1}{2}$
25	$24\frac{2}{3}$	+ $\frac{1}{3}$
20	20	0
15	15	0

IV.° CONFRONTO

$a = 33$ oscil. $d = 32$ oscil.

DEVIAZIONI di		DIFFERENZE
A*a*	B*d*	
62	$62\frac{1}{2}$	— $\frac{1}{2}$
50	$50\frac{1}{2}$	— $\frac{1}{2}$
45	$45\frac{1}{2}$	— $\frac{1}{2}$
35	35	0
20	$20\frac{1}{4}$	— $\frac{1}{4}$
15	25 +	—
10	10	0

V.° CONFRONTO

$c = 33$ oscil. $e = 32$ oscil.

DEVIAZIONI di		DIFFERENZE
A*c*	B*e*	
60	$60\frac{1}{2}$	— $\frac{1}{2}$
50	$50\frac{1}{2}$	— $\frac{1}{2}$
40	$40\frac{1}{3}$	— $\frac{1}{3}$
35	$35\frac{1}{3}$	— $\frac{1}{3}$
30	30 +	—
25	25	0
20	20	0

A riserva degli aghi *b*, *c*, che portano la differenza ad 1.°, gli altri non differiscono che di mezzo grado come i due del 1.° Confronto. Non ho usata in queste prove alcuna attenzione particolare. I miei aghi sono piuttosto lunghi e sottili, e niuno fra loro può dirsi perfettamente diritto e cilindrico. Hanno tutti un qualche difetto, ed io gli ho impiegati senza farvi alcuna distinzione. Egli è sicuramente in grazia di queste imperfezioni che resta indecisa la scelta fra gli aghi che fanno le 32 o le 33 oscillazioni. Se non vi fosse altro errore che quello d'un'oscillazione di più o di meno, noi ce ne avvederemmo subito ai risultati che varierebbero tutti nello stesso senso. Ho istituito a questo riguardo varj confronti e mi sono assicurato che appena due aghi differiscono di due oscillazioni, quello che ne fa il minor numero dà in tutta la scala de' valori più forti dell'altro. In questo caso l'errore dovuto alla differenza di magnetismo supera le altre sorgenti d'errore, e si scopre al confronto di due scale, che si mantengono in ogni punto l'una al disotto dell'altra. Al contrario quando la differenza di magnetismo si riduce ad una sola oscillazione, l'errore che ne deriva, si confonde in mezzo agli altri, e si comprende che poco importa di rettificarlo, dal momento che si vede dal 3.° confronto, che gli strumenti più comparabili non son sempre quelli dove gli aghi combinano esattamente nel numero d'oscillazioni. Del resto scegliendo unicamente gli aghi più perfetti, e fra questi quelli che fanno 32 ½ oscillazioni in 2', sono persuaso che non si abbia in alcun caso ad incontrare differenze maggiori d'un mezzo grado: è anzi assai verisimile di ridurre gli errori al disotto di questi limiti, se non per tutta la scala galvanometrica, almeno pei primi 60.°. È questo, giova qui avvertirlo, l'intervallo delle buone osservazioni. Le correnti di 60.° sono già molto gagliarde, e cominciano a misurarsi malamente in grazia della loro incostanza.

Io ho presentemente montati i miei due istrumenti con due aghi che non differiscono più di 1/4 di grado per tutto quel lunghissimo tratto di scala in cui gli ho confrontati. Gli aghi che s'accordano così bene sono i due del V.° Confronto segnati *c*, e, ad uno de' quali si è applicato un genere di correzione, di cui parleremo a momenti.

VI.° CONFRONTO

DEVIAZIONI		DIFFERENZE
Ac	Be	
65	65 +	—
60	60 +	—
50	50 +	—
45	45 +	—
40	40	0
30	29 $\frac{3}{4}$	+ $\frac{1}{4}$
25	24 $\frac{3}{4}$	+ $\frac{1}{4}$
20	19 $\frac{3}{4}$	+ $\frac{1}{4}$
10	10	0

L'interno de' telaj ha una certa capacità, e gli aghi magnetici, che vi si collocano dentro, risentono un'azione che varia alle differenti altezze. Il massimo effetto risponde al luogo di mezzo, dove per appunto si sospendono ordinariamente gli aghi magnetici: al disopra e al di sotto, gli effetti calano un poco, e si può da tal diminuzione, trarre partito per correggere gli errori d'un ago che rispettivamente ad un altro dia de' risultati troppo forti. Dal V.° Confronto si vede che l'ago e cominciava dopo i 25.° a presentare delle deviazioni maggiori di quelle dell'ago *c*. In quella circostanza l'ago *e* occupava la posizione centrale del telajo: io l'ho alzato per un millimetro circa; ed è in questa situazione che mi ha presentato i risultati del VI.° Confronto, i quali s'accordano meglio di quelli del V.°

Questo genere di correzione si raccomanda all'attenzione de' fisici per due motivi; primo perchè non altera il magnetismo degli aghi; secondo perchè col suo mezzo si può mettere d'accordo quella parte della scala che più aggrada. Nel V.° Confronto gli aghi *c*, *e* s'accordavano nella parte inferiore: l'alzamento di *e* ha trasportato l'accordo nella parte superiore. Tali trasporti

possono essere utili in varie circostanze; ed io gli avrei segnalati ai fisici indipendentemente dal bisogno di render conto dell'ultimo esperimento.

Io non ho spinto più oltre questi confronti, perchè il loro accordo mi sembra tale da risolvere il punto principale della quistione. Non solo, io credo, possibile di fare de' galvanometri comparabili; ma di più ritengo che sieno suscettibili d'una precisione di poco inferiore a quella de' termometri. Non parlo degl' igrometri perchè rari sono quelli che non sbagliano un pajo di gradi: errore che si può ridurre alla quarta parte in un buon galvanometro. Tutti gli istrumenti di misura esigono delle attenzioni particolari; il galvanometro richiede anch'esso le sue, ma queste non sono nè eccessive nè fuori della portata comune. Supponiamo che si adottino e si seguano esattamente le dimensioni del nostro istrumento, e non rimarrà che una operazione alquanto delicata da eseguire, quella cioè di calamitare un dato ago per modo che faccia da 32 in 33 oscillazioni doppie in due minuti.

Ma quì bisogna pure notare un difetto che il galvanometro non divide con nessun altro istrumento. Non è già il pericolo che gli aghi calamitati una volta a dovere cangino di forza col tempo, perchè in caso d'alterazione è cosa facile di ridurli al primo magnetismo, o di sostituirgliene degli altri d'una forza eguale. L'inconveniente è d'un'altra natura, e consiste nel magnetismo terrestre, la cui intensità varia notabilmente dall'equatore ai poli. Uno de' miei aghi trasportato al Perù non farebbe colà che 28 oscillazioni circa quando qui in Italia ne fa 33 (1). Il divario di cinque oscillazioni sarebbe eccessivo, e gli errori non si potrebbero in alcun modo tollerare. Il male a prima vista si giudicherebbe irreparabile; pure nulla di più semplice che il suo rimedio: si lascia sussistere il magnetismo degli aghi, e si applica a dirittura la correzione al magnetismo terrestre riducendolo con una calamita artificiale alla forza necessaria per produrre sull'ago dell'istrumento il fissato numero d'oscillazioni. Suppongo sempre che questo numero sia stato regolato alla latitudine di 45.°: verso l'equatore dove calano le oscillazioni degli aghi, dovrà rinforzarsi l'azione del magnetismo terrestre col mezzo d'un'altra calamita; verso il polo dove crescono le oscillazioni, dovrà farsi l'operazione inversa. Egli è per altro evidente che non sarà necessario di ricorrere a quest'artifizio che allontanandosi molto dalla nostra latitudine, e che il vantaggio d'impiegare i nostri galvanometri senza aggiunta o sottrazione di magnetismo si estenderà probabilmente alla maggior parte delle città d'Europa.

(1) M. Humboldt osservò che il suo ago magnetico, il quale faceva a Parigi 245 oscillazioni in 10', non ne faceva più che 211 al Perù. Siamo partiti da questo dato per vedere in un dipresso quanto calerebbero nella stessa circostanza le 33 oscil. de' nostri aghi.

In questo progetto viensi, per così dire, a raccomandare una sola verificazione quella del magnetismo degli aghi. In un altro lavoro che presentai sino dal 1827 all' Istituto di Francia, insisteva sopra una verificazione d' un genere diverso. Giova rammentarla in questo luogo per dare un' idea d' un metodo, che potrà servire in altre circostanze se non è più applicabile al caso di cui si tratta.

Noi abbiamo visto quanto sia facile di mettere d' accordo i nostri istrumenti in un tratto qualunque della loro scala. Fissiamo le idee, e scegliamo un punto d' accordo, nel luogo il più conveniente, che è il mezzo della scala, cioè sul 30.° grado. Avremo quì un certo numero di gradi dove si manterrà l' accordo; al disopra e al disotto le differenze non monterranno a più di 1/4 di grado, supposto che gli strumenti sieno costruiti colle debite cure. Il termometro e l' igrometro hanno ciascuno due punti fissi nella loro scala: nel galvanometro tutto è arbitrario; l' accordo sul 30.° non sarebbe altro che un punto fisso per convenzione. La convenzione peraltro riuscirebbe utilissima; ma per inspirare confidenza il punto stabilito dovrebbe esser tale da potersi verificare a piacimento.

Or quì nasce il bisogno d' una corrente talmente intensa e costante da produr sempre sull' istrumento la deviazione fissata dei 30°.

Le correnti idro-elettriche, qualunque sia il fluido che le ecciti, vanno soggette a tali variazioni, che non si può in alcun modo contare sulla costanza dei loro effetti. Tutti i tentativi che ho fatto a questo riguardo mi sono riusciti infruttuosi: ho dovuto per necessità ricorrere al termo-magnetismo dove si rinviene una risorsa che manca nell' altro ramo d' elettricità. Si sa che il calore è da se solo capace d' eccitare delle correnti elettriche, e che tali correnti si mantengono le stesse sotto le stesse condizioni di temperatura. Ora noi abbiamo, nella temperatura del ghiaccio fondente e dell' acqua che bolle sotto la pressione di 28 pol., due termini fissi di calore, i quali si possono ottenere quando si vuole, e conservare per tutto quel tempo che più aggrada. Basta dunque preparare un elemento termo-elettrico composto al solito di due metalli differenti e poi mantener l' una delle giunture al grado dell' acqua bollente e l' altra al grado del ghiaccio, per ottenere una corrente incapace di cangiare d' intensità sinchè quelle due giunture rimangono esposte all' azione delle temperature estreme 0.°, 80.°. Questa è veramente una *corrente costante*, e l' elemento che la somministra, è suscettivo d' una precisione che non lascia nulla da desiderare, come mi sono assicurato con prove reiterate.

Io aveva costruito molti di siffatti elementi coll' idea di unirli ai miei galvanometri comparabili. Nel mio primo progetto aveva applicato al moltiplicatore due aghi, i quali rendevano l' istru-

mento molto più sensibile di quello che propongo attualmente, ridotto ad un ago solo. La corrente costante produceva sopra i due aghi una deviazione di 36.°, mentre sull'attuale ne produce una di 3.° appena. Nel primo caso la sua azione rispondeva ad un bel punto della scala; ora il suo effetto viene trasportato sopra un grado troppo vicino al *zero* della graduazione per garantire la giustezza delle divisioni superiori. Si potrebbe, è vero, costruire degli elementi termo-elettrici capaci d'eccitare una corrente più intensa di quella dei 3.°; ma non si perverrebbe tutt'al più che ad elevarla sino ai 10.° o 12.°, vale a dire troppo sempre al disotto del segno conveniente per raccomandarla come un buon mezzo di verificazione.

Mi rincresce senza dubbio di privare il galvanometro di questo genere di verificazione. Ma tale è pur troppo la sorte degl'istrumenti: non si migliorano da un lato senza che perdano qualche cosa da un altro (1). Il galvanometro a due aghi si presta ad un'eccellente verificazione nel mezzo della sua scala; ma i suoi errori al disotto e al disopra sono molto superiori a quelli che si hanno con un ago solo. In quest'ultimo caso l'accordo generale è molto più perfetto, e bisogna pure preferire questa qualità a tutte le altre.

L'idea delle correnti costanti era troppo legata al presente soggetto, perch'io non le accordassi un posto in questa memoria. Io l'ho tanto più volentieri sviluppata ch'essa può prestare, per quanto io credo, de'servigj eminenti alla scienza. Fra le grandi questioni che fermarono l'attenzione dei primi dotti della Francia, vi ha quella di fissare l'intensità del magnetismo terrestre, onde mettersi in situazione di seguire un elemento di tanta importanza attraverso le vicende che soffrirà probabilmente coll'andare del tempo. Non è quì il luogo da esaminare le varie idee che si sono proposte intorno a questo argomento. Mi limiterò a ripetere una mia opinione, ed è che tocca alle *correnti costanti* l'incarico di risolvere quel grande problema. Vorrei pure, col sussidio delle stesse correnti, costruire un altro galvanometro comparabile: sarebbe questo, se mi riuscisse, indipendente affatto dal magnetismo ordinario. Non è difficile ad immaginare il partito che si può trarre dalle correnti costanti nelle questioni della natura or ora indicata: la difficoltà consiste nell'applicare il principio per modo che i risultati soddisfacciano al bisogno della scienza Il resto conta ben poco: così poco che le combinazioni le più ingegnose passano presto in dimenticanza se non conducono a qualche utile applicazione.

(1) Vedi la *Nota* in fine.

SECONDA PARTE

Della intensità delle correnti.

Supposto che siasi riuscito a provvedere i fisici d'un galvanometro comparabile, resta un altro gran passo da fare per ricavare da questo istrumento tutto il vantaggio possibile; rimane cioè da scoprire qual sia l'*intensità* della corrente ad ogni *grado* di deviazione. Quì si presentano quattro metodi differenti: poche linee di dichiarazione basteranno per far conoscere lo spirito di ciascheduno.

I.° METODO

Un telajo a cui sieno in pari tempo avvolti due fili eguali, offre il mezzo di determinare le deviazioni che corrispondono a due correnti, l'una doppiamente intensa dell'altra. Questo metodo, già seguito da M. Becquerel nella serie delle sue esperienze termo-elettriche, è semplicissimo in teoria (1). Si procurano in qualche modo due correnti eguali: se ne dirige una sopra uno de' fili del galvanometro, e si nota la deviazione *d.°* che vi produce. Si aggiunge la seconda corrente coll'introdurla sull'altro filo, e si osserva la deviazione D.° prodotta dal concorso d'amendue le correnti. Quest'ultima deviazione D.° apparterrà evidentemente ad una corrente del doppio intensa di quella, che ha prodotto il primo effetto *d.°*. Supponiamo, per esempio, che due correnti della stessa forza di 4.° producano insieme una deviazione di 7.°: si avrà Cor. 7.° = 2 Cor. 4.° Ma la corrente di 4.° si trova, coll'esperienza, doppia precisamente della corrente di 2.°. Dunque posta eguale a 2 l'intensità di questa corrente di 2.°, si avrà Cor. 4.°=2X2=4, e per conseguenza Cor. 7.°=2 Cor. 4.°=2X4=8.

Estendendo questo metodo a un gran numero di correnti, si comprende come dal valore dei gradi inferiori si deduca quello de' gradi superiori, passando da un doppio all'altro, e riempiendo le lacune colla via delle medie proporzionali.

Io aveva sul principio delle mie ricerche ideato di seguire questo metodo, ma l'abbandonai tosto che m'avvidi della difficoltà d'ottenere, in qualunque punto della scala, due correnti di forza eguale. Le sole correnti somministrate dagli elementi termo-elettrici nel caso speciale in cui vengono eccitate dai due limiti di temperatura 0.°, 80.°, possono ridursi eguali, e conservarsi tali per il tempo necessario alle osservazioni: tutte le altre o non si hanno mai eguali, o lo sono per un momento così breve che sfugge all'occhio dell'osservatore.

(1) Ann. de' Chim. et Phys. Tom. XXXI pag. 371.

II.° METODO

Questo metodo poggia sopra un fatto ch' io ho notato per il primo, e che si verifica assai facilmente: esso consiste in questo cioè, che le correnti idro-elettriche, al di sotto d' un certo grado di forza, passano completamente tanto pel circuito d' un solo moltiplicatore quanto pel doppio circuito di due (1). Il limite in cui cessa questa proprietà, è tanto più lontano, quanto più corti e grossi sono i fili dei due circuiti, e quanto più forte è la tensione della corrente, od in altri termini quanto maggiore è il numero degli elementi voltaici da cui deriva la corrente. Ritorneremo fra poco su quest' ultima condizione: ma per ora basta il sapere che si può, in qualunque punto della scala, trovare una corrente che passi interamente pel circuito di due dei nostri moltiplicatori.

Ciò posto facciamo passare una corrente C attraverso un solo moltiplicatore, e notiamo la deviazione *d.°* che ne risulta. Dopo facciamo subito passare la medesima corrente attraverso il doppio circuito di due fili, ed osserviamo la deviazione D.° che ne deriva. Poichè la corrente C non s'indebolisce a passare per questo doppio circuito, l' effetto D.° sarà precisamente lo stesso come se si fosse introdotto sopra ciascun filo una corrente particolare della forza di C. Così coll' artifizio del doppio circuito si giunge allo scopo del metodo precedente; ma senza impiegare in ogni caso che una sola corrente in luogo delle due eguali troppo difficili ad ottenersi. Una sola cura debbe aversi, ed è che la corrente dell' esperimento si mantenga dello stesso valore per il tempo necessario delle due osservazioni: condizione facile a procurarsi, servendosi di pile preparate di nuovo, ed eccitate con un acido che non attacchi rapidamente le piastre di zinco. Quanto più viva è l' azione degli acidi su questo metallo, tanto più le correnti vanno soggette a variare da un momento all' altro. Si sa che le pile si caricano ordinariamente con una certa dose d' acido nitrico e solforico. La mescolanza di questi due acidi giova allo scopo d' ottenere il massimo effetto; ma per avere delle correnti che cangino il meno possibile da un istante all' altro, conviene limitarsi all' azione del solo acido nitrico.

III.° METODO

Il metodo precedente è suscettibile, in quanto alle osserva-

(1) Il nostro telajo porta quattro moltiplicatori; ma qui non è questione che di due. Si parlerà degli altri a suo luogo. Per assicurarsi poi del fatto che le correnti d' una data forza non s' indeboliscono a passare pel doppio circuito di due moltiplicatori, si prepara al di fuori del galvanometro un filo che sia lungo e grosso quanto quello d' uno de' moltiplicatori, e poi si osserva quando è che le deviazioni non cangiano per l' aggiunta di questo filo esteriore.

Corrente di	54.°	doppia della corrente di	44.°
«	44.°	«	34.°
«	34.°	«	27.°
«	27.°	«	21.°
«	21.°	«	16.°
«	16.°	«	11.°
«	11.°	«	7.°
«	7.°	«	4.°

Se questi risultati fossero esatti, si partirebbe dalla corrente di 4.°=1,00 per ascendere come segue, all'intensità de' gradi superiori.

Corrente di	4.°	..... =	4,00
«	7.°	(=2 Cor. 4.°) =	8,00
«	11.°	(=2 Cor. 7.°) =	16,00
«	16.°	(=2 Cor. 11.°) =	32,00
«	21.°	(=2 Cor. 16.°) =	64,00
«	27.°	(=2 Cor. 21.°) =	128,00
«	34.°	(=2 Cor. 27.°) =	256,00
«	44.°	(=2 Cor. 34.°) =	512,00
«	54.°	(=2 Cor. 44.°) =	1024,00

Ma la corrente di 7.° non è precisamente doppia di 4.°. Ripetute osservazioni danno un risultato un poco più debole. Il quarto di grado si prende benissimo a stima, e l'ottavo si giudica con sufficiente precisione facendo oscillar l'indice sull'ampiezza del quarto di grado. Quando dunque non si arriva a legger precisamente quanto manchi alla corrente di 4.° per essere la metà giusta di 7.°, si può star certi che la frazione che manca, è minore d'un ottavo di grado. Supponendo dunque la corrente di 7.° doppia della corrente 3.° $\frac{7}{8}$, si fa una supposizione al disotto del vero com'era al disopra l'altro da cui siamo partiti or ora. Nell'ultima supposizione si hanno i seguenti valori.

Corrente di	3.° $\frac{7}{8}$	=	3,875
«	7.°	=	7,75
«	11.°	=	15,50
«	16.°	=	31,00
»	21.°	=	62,00
«	27.°	=	124,00
«	34.°	=	248,00
«	44.°	=	496,00
«	54.°	=	992,00

Questi valori non differiscono dai precedenti che d'un trentaduesimo. La corrente infatti di 16.° ch'era valutata nella pri-

ma serie a 32,00, è ora ridotta a 31,00; e questo calo di $\frac{1}{32}$ si conserva lo stesso negli altri valori, perchè in quest'esempio si suppone che non vi sia altro errore che quello che colpisce la prima equazione.

Ma come si può sbagliare di un ottavo di grado nel prendere il primo doppio, così si può sbagliare d'altrettanto nel prendere i successivi. Otto sono, nel nostro caso, le doppie correnti, e se tutte contenessero un errore in meno di $\frac{1}{8}$ di grado, si radunerebbe sull'ultima dei 54.° un errore otto volte maggiore di quello che abbiamo indicato. Quest'errore non sarebbe tollerabile. Egli è vero che la riunione di tanti errori nell'istesso senso è del tutto improbabile; ma si vede che non conviene commettere all'azzardo la cura dei compensi. Se la prima volta si è letto un risultato un po' calante, la seconda si prende un po' crescente, e così alternando di mano in mano le osservazioni deboli colle forti si compensano discretamente gli errori; ma sempre in un modo, bisogna confessarlo, che lascia da desiderare un maggior grado di precisione. Il quarto metodo è difatti più soddisfacente.

IV.° METODO

Le intensità delle correnti de' primi quattro gradi sono, come abbiamo già detto più volte, proporzionali ai gradi stessi cioè ai numeri 1, 2, 3, 4. Dal 4.° al 7.° cessa una tale proporzionalità: la corrente di 7.° è già quasi =8,00 invece d'essere=7,00: Dunque dal 4.° al 7.° grado vi è già l'aumento approssimativo di un'unità, che va ripartita sul valore dei tre gradi 5, 6, 7. La corrente di 11.° è prossimamente=16,00 cioè a Cor. 7.° + 8,00. Vi ha dunque dal 7.° all'11.° grado un aumento di 8,00 che va compartito sull'intervallo che gli spetta, vale a dire sul valore numerico dei quattro gradi 8, 9, 10, 11. Dall'11.° grado in poi gli aumenti sono anche più notabili: si fanno così rapidi che la corrente di 54.° è gia 1000 volte più intensa di quella di un grado solo. Se si conoscesse la legge di questi aumenti, nulla di più facile allora che applicare alle correnti di ciascun grado il suo giusto valore; ma s'ignora una tal legge, e conviene ricorrere ad una lunga serie di esperienze quando pur si voglia col sussidio *delle differenze* percorrere tutta la scala del galvanometro.

Misuro, per esempio, una corrente di 10.° sopra uno de' fili dell'istrumento. Indi ne misuro un'altra della forza di 9.° proveniente da un'altra sorgente. Prendo infine la differenza facendo passare le

due correnti, l'una in un senso e l'altra nell'altro, sopra due fili distinti, e trovo . . . . . Cor. 2.° = Cor. 10.° - Cor. 9.°

In simil modo ho trovato i risultati seguenti;

Cor. 3.°		=	Cor. 13.° - Cor. 12.°
Cor. 4.°	$\frac{1}{2}$	=	Cor. 16.° - Cor. 15.°
Cor. 5.°		=	Cor. 19.° - Cor. 18.°
Cor. 7.°		=	Cor. 22.° - Cor. 21.°
Cor. 8.°		=	Cor. 24.° - Cor. 23.°
Cor. 10.°		=	Cor. 27.° - Cor. 26.°
Cor. 12.°		=	Cor. 31.° - Cor. 30.°
Cor. 13.°		=	Cor. 34.° - Cor. 33.°
Cor. 14.°		=	Cor. 37.° - Cor. 36.°
Cor. 15.°		=	Cor. 40.° - Cor. 39.°
Cor. 17.°		=	Cor. 45.° - Cor. 44.°
Cor. 19.°		=	Cor. 50.° - Cor. 49.°
Cor. 21.°	$\frac{1}{2}$	=	Cor. 55.° - Cor. 54.°
Cor. 24.°		=	Cor. 60.° - Cor. 59.°

Tale è per appunto la serie delle differenze di cui mi sono servito a compilare la *Tavola delle intensità* unita alla presente memoria. Non discuterò quì tutte le osservazioni che ho dovuto fare prima di fermarmi ai risultati esposti. Sarebbe questo un lavoro troppo lungo e penoso. Lo risparmierò ai leggitori, cui dirò unicamente che senza il soccorso di due galvanometri non sarei forse arrivato a capo d'un' impresa così laboriosa. Il misurar due correnti, l'una dopo l'altra, e poscia prenderne la differenza è un esperimento che richiede tre operazioni successive, durante le quali le correnti fanno per lo più tali divarj che bisogna ripetere un gran numero di volte le osservazioni prima di ottenere un risultato soddisfacente. Si risparmia tempo e fatica impiegando due galvanometri. Così le tre operazioni si riducono a due, a misurare cioè le due correnti sopra un istrumento all'atto stesso in cui si legge la differenza sopra un altro. Del resto se io dovessi rifare questo lavoro non mi limiterei all'uso di due galvanometri: ne impiegherei tre; sopra uno prenderei una corrente, sopra un altro prenderei l'altra corrente, sul terzo infine leggerei la differenza. La mancanza d'un perfetto d'accordo fra i tre istrumenti non mi darebbe alcun pensiero: si correggerebbero in ogni caso le differenze come s'indicò nel II.° Metodo.

La Tavola delle intensità è divisa in due colonne principali. Nella prima si legge il numero progressivo dei gradi di deviazione; nella seconda il valore numerico che corrisponde a ciascun grado. Ciascuna di queste due divisioni ha la sua *colonna di differenze*, l'una in *gradi*, l'altra in *numeri*. L'osservazione dà le differenze in gradi come abbiamo già veduto, ...

Cor. 10.° - Cor. 9.°=Cor. 2.°
Cor. 13.° - Cor. 12.°=Cor. 3.°
ec. ec. ec. ec.

Queste differenze si convertono in numeri col mezzo dei valori dei primi gradi. Le differenze in gradi avute direttamente dall'osservazione sono distinte con un asterisco: le altre non segnate sono altrettante medie aritmetiche. Gli errori dei termini interpolati non oltrepassano sicuramente il limite degli errori delle osservazioni dirette: sarebbe quindi stato inutile d'occuparsi d'una legge d'interpolazione più esatta. Col mezzo d'una formola empirica sarei anche facilmente riuscito a rendere più regolare la marcia generale delle differenze, ma la Tavola non sarebbe con ciò riuscita più perfetta. Avrei in tal modo palliati piuttosto che corretti gli errori; vergognoso ripiego in mancanza di meglio.

L'esattezza dei numeri superiori dipende da quella degl'inferiori. Io ho rifatto più volte il principio della scala, ora impiegando il metodo dei doppj, ed ora l'altro delle differenze. I numeri che si leggono a fronte dei primi nove gradi risultano dal concorso dei due metodi e combinano colle migliori osservazioni. Io sono certo che si scostano ben poco dal vero, ma nemmeno per questo oserei garantire un'eguale precisione nel rimanente della scala. Posso unicamente assicurare che ho verificata la tavola in moltissimi luoghi, e che non l'ho mai ritrovata in difetto del valore d'un mezzo grado. Il galvanometro co' suoi quattro moltiplicatori offre il mezzo di fare quante verificazioni si vuole: il circuito di due fili dà la doppia corrente, il circuito di tre fili dà la tripla; il circuito di quattro dà la quadrupla. Ecco alcune di tali verificazioni.

	OSSERVAZIONI	VALORI DELLA TAVOLA		DIFF.
Correnti doppie	Cor. 12.° = 2 Cor. 8.°	$\frac{\text{Cor. } 12.°}{2} = \frac{18,19}{2}$	= 9,10	
		Cor. 8.°	= 9,40	— 0,30
	Cor. 18.° = 2 Cor. 13.°	$\frac{\text{Cor. } 18.°}{2} = \frac{41,98}{2}$	= 20,99	
		Cor. 13.°	= 21,19	— 0,20
	Cor. 26.° = 2 Cor. 20.°	$\frac{\text{Cor. } 26.°}{2} = \frac{109,53}{2}$	= 54,77	
		Cor. 20.°	= 54,18	+ 0,59
	Cor. 38.° = 2 Cor. 30.°	$\frac{\text{Cor. } 38.°}{2} = \frac{344,22.}{2}$	= 172,11	
		Cor. 30.°	= 169,49	+ 2,62
	Cor. 50.° = 2 Cor. 40.°	$\frac{\text{Cor. } 50.°}{2} = \frac{781,52}{2}$	= 390,76	
		Cor. 40.°	= 399,36	— 8,60
Correnti triple	Cor. 15.° = 3 Cor. 8.°	$\frac{\text{Cor. } 15.°}{3} = \frac{28,18}{3}$	= 9,39	
		Cor. 8.°	= 9,40	— 0,01
	Cor. 35.° = 3 Cor. 24.°	$\frac{\text{Cor. } 35.°}{3} = \frac{270,55}{3}$	= 90,18	
		Cor. 24.°	= 87,08	+ 3,10
	Cor. 48.° = 3 Cor. 33.°	$\frac{\text{Cor. } 48.°}{3} = \frac{688,28}{3}$	= 229,43	
		Cor. 33.°	= 227,06	+ 2,37
	Cor. 55.° = 3 Cor. 38.°	$\frac{\text{Cor. } 55.°}{3} = \frac{1070,87}{3}$	= 356,96	
		Cor. 38.°	= 344,22	+ 12,74
	Cor. 60.° = 3 Cor. 43.°	$\frac{\text{Cor. } 60.°}{3} = \frac{1460,47}{3}$	= 486,82	
		Cor. 43.°	= 493,62	— 6,80
Correnti quadruple	Cor. 25.° = 4 Cor. 14.°	$\frac{\text{Cor. } 25.°}{4} = \frac{97,67}{4}$	= 24,42	
		Cor. 14.°	= 24,52	— 0,10
	Cor. 40.° = 4 Cor. 25.°	$\frac{\text{Cor. } 40.°}{4} = \frac{399,36}{4}$	= 99,84	
		Cor. 25.°	= 97,67	+ 2,17

I risultati di queste verificazioni non hanno bisogno di comenti: gli errori infatti non arrivano nemmeno al segno che abbiamo indicato.

RESIDUI DELLE CORRENTI

Il galvanometro non misura che la corrente che passa pel suo filo. Ma d'una corrente, che viene da una sorgente abbondante, quale è la porzione che passa, e quale l'altra che non passa? Quì bisogna subito fare una distinzione per non aver mai da confondere le correnti termo-elettriche colle idro-elettriche.

Correnti termo-elettriche.

Queste correnti calano notabilmente a misura che si allunga il loro circuito. La legge della loro diminuzione è complicatissima, come ho avuto occasione d'assicurarmi in più maniere, ma particolarmente ricercando qual era la quantità de' giri che conveniva di far fare ai fili de' moltiplicatori per produrre il *massimo* effetto. Io ho veduto che questo massimo risponde ad un certo numero di giri: tanto un maggiore come un minor numero pregiudica alla sensibilità dell'istrumento. Ma questo risultato, si noti bene, non appartiene che alle correnti termo-elettriche. Per le idro-elettriche non ha luogo alcuna limitazione di filo: infatti quanto più si moltiplicano i giri intorno al telajo, tanto più cresce il loro effetto sull'ago dell'istrumento. Una differenza così decisa deriva dalla conducibilità del filo congiuntivo, la quale è sempre molto imperfetta per le correnti termo-elettriche dotate di pochissima tensione, e poco meno che perfetta per le correnti idro-elettriche dotate al contrario d'una tensione molto più considerevole.

Questa circostanza rende la *ricerca dei residui* discretamente facile nella classe delle correnti idro-elettriche, mentre si fa sommamente difficile nelle termo-eletlriche. Io non so altro rispetto a quest'ultime; nè credo che si possa fare il più piccolo passo in questo ramo, a meno di non occuparsene in un modo particolare. Bisognerebbe innanzi tutto provvedersi d'una moltitudine di elementi termo-elettrici di varie forme e dimensioni, e costruire un galvanometro composto almeno di venti o trenta moltiplicatori. Un così gran numero di fili sarebbe tutt'altro che superfluo, se i residui lasciati indietro dalle correnti termo-elettriche seguono una legge complicatissima come tutto sembra annunziare.

Correnti idro-elettriche.

Il primo canone da stabilire rispetto a questa specie di correnti si è che *a forza eguale* le correnti lasciano indietro de' residui tanto minori quanto maggiore è il numero degli elementi voltaici che le eccita.

Il nostro galvanometro è composto di quattro moltiplicatori.

Supponiamo che uno di questi fili comunichi con una data sorgente d'elettricità voltaica: questa produrrà sull'ago una certa deviazione *d.°*. Mettiamo adesso un altro filo in comunicazione colla medesima sorgente: la corrente si scarica in tal caso per due vie differenti, e produce una deviazione che supera la prima *d.°* d'una certa quantità *r* quando la corrente non sia tale da passar tutta per un solo filo. Aggiungiamo alla corrente il terzo filo: la corrente si scarica adesso per tre vie, e ne nasce una deviazione che cresce d'un'altra quantità *r'* quando la corrente non sia tale da passar tutta per due soli fili. Si aggiunga in fine il quarto filo; o si avrà un altro aumento *r''* quando la corrente non passi tutta pei tre primi fili. Tale è il modo di studiare la legge dei residui. Ecco i risultati che ho ottenuti, applicando questo metodo al caso speciale d'un solo elemento voltaico, il quale era combinato in modo da potersi immergere a piacimento nell'acqua acidula per avere le correnti indicate nel quadro seguente.

N. progressivo delle immersioni	FORZA DELL'ELEMENTO SCARICATO DA			
	un filo	due fili	tre fili	quattro fili
1	10°	10° + 0	10° + 0 + 0	10° + 0 + 0 + 0
2	18°	18° + $\frac{1}{8}$	18° + $\frac{1}{8}$ + 0	18° + $\frac{1}{8}$ + 0 + 0
3	23°	23° + $\frac{1}{4}$	23° + $\frac{1}{4}$ + $\frac{1}{8}$	23° + $\frac{1}{4}$ + $\frac{1}{8}$ + 0
4	29°	29° + $\frac{1}{2}$	29° + $\frac{1}{2}$ + $\frac{1}{4}$	29° + $\frac{1}{2}$ + $\frac{1}{4}$ + $\frac{1}{8}$
5	37°	37° + 1	37° + 1 + $\frac{1}{2}$	37° + 1 + $\frac{1}{2}$ + $\frac{1}{4}$
6	47°	47° + 2	47° + 2 + 1	47 + 2 + 1 + $\frac{1}{2}$

I risultati di questo quadro cominciano ai 10.°. La corrente di questa forza passa tutta per un solo filo: gli altri tre fili non aggiungono nulla alla deviazione: *nulla*, s'intende, *di sensibile*, ed insensibili, giova quì ricordarlo, sono le frazioni al disotto di un ottavo di grado.

La corrente di 18.° è già tale da presentare un residuo degno di considerazione. Il secondo filo aggiugne $\frac{1}{8}$ di grado: gli altri due fili non aggiungono nulla.

Sui 23.° i residui sono due $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{8}$, il primo si ha dal secondo filo, l'altro dal terzo: il quarto filo non aggiunge nulla.

Ai 29.° i residui sono tre $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{8}$, il quarto filo che nel caso precedente non aggiungeva nulla, aggiugne ora $\frac{1}{2}$ di grado. Questa frazione è l'ultima che sia sensibile. Dunque la corrente di 29.° è ancora tale da misurarsi tutta sopra i quattro fili dell'istrumento. Le correnti de' gradi superiori non hanno nel galvanometro un sufficiente numero di scaricatori, come si vede chiaro dalle ultime due osservazioni. La corrente di 37.°, che ha per residui le frazioni 1, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$ esigerebbe un quinto filo per iscaricarsi completamente; la corrente di 47.° ne richiederebbe un altro di più in grazia del terzo suo residuo che è $\frac{1}{2}$.

La legge per altro di questi residui è abbastanza manifesta per aggiunger quelli che mancano: essi decrescono in ragione geometrica, e la progressione $\doteq 2 : 1 : \frac{1}{2} : \frac{1}{4} : \frac{1}{8}$ che formano, ha per somma l'espressione $2r - \frac{1}{8}$ dove non entra che il primo residuo r. Noi raccomandiamo questo risultato senza pretendere che sia matematicamente esatto: la vera legge de' residui sarà probabilmente più complicata; nè quella a cui siamo pervenuti sarà altro che una legge approssimativa, di cui si potrà servire sintanto che se ne scopra una più esatta.

Il quadro de' residui contiene gli elementi d'un'altra approssimazione. Scriviamo in tre colonne, 1.° i gradi D.° delle correnti esperimentate di sopra; le intensità I di queste correnti quali le dà la nostra Tavola; terzo i residui $2r - \frac{1}{8}$ colla loro equivalenza in numeri. Formeremo così la tabella che segue.

Deviazioni D'	Intensita' I	Residui $(2r - \frac{1}{8})$ in	
		gradi	numeri
18°	41,98	0°,125 =	0,73 = $\frac{1}{58}$ (41,98)
23°	77,68	0°,375 =	3,53 = $\frac{1}{22}$ (77,68)
29°	152,63	0°,875 =	14,75 = $\frac{1}{10}$ (152,63)
37°	318,48	1,875 =	49,33 $\frac{1}{6,5}$ (318,48)
47°	645,14	3,875 =	181,00 $\frac{1}{3,5}$ (645,14)

Confrontando i numeri delle intensità coi gradi dei residui si vede che, a riserva dei valori della prima linea, queste due quantità crescono quasi nella medesima ragione, raddoppiandosi prossimamente da un termine all' altro. I residui crescono dunque a un dipresso come le intensità; ma si noti bene che questi residui sono ancora misurati in gradi. Ridotti in numeri formano una progressione che cresce rapidamente e senza alcuna apparente regolarità (1). Infatti se confrontiamo l' intensità de' residui coll' intensità delle rispettive correnti si ha la serie $\frac{1}{58}$, $\frac{1}{22}$, $\frac{1}{10}$, $\frac{1}{6,5}$, $\frac{1}{3,5}$, i primi termini della quale crescono, dall' uno all' altro, più del doppio, e gli ultimi meno. Non pare adunque che vi sia un rapporto costante fra le correnti e le loro perdite. Ciò per altro su cui non cade dubbio, si è che le perdite crescono più rapidamente di quello che si sarebbe giudicato a prima vista. La corrente di 18.° perde appena $\frac{1}{58}$ della sua forza; la corrente di 47.° ne perde quasi due settimi.

Tali sono le perdite che soffrono le correnti d' un solo elemento. I residui che lasciano indietro le correnti delle pile si determinano allo stesso modo, e seguono a un dipresso la stessa legge, ma il primo residuo r comincia a manifestarsi più tardi.

(1) Questa riduzione si fa così; si aggiunge alla deviazione D.° il suo residuo in gradi $2r - \frac{1}{8}$; si cerca nella tavola I' intensità I' corrispondente alla corrente $D° + 2r - \frac{1}{8}$, dalla quale si sottrae l' intensità I della corrente D.°.

Una pila, per esempio, di 12 elementi della forza approssimativa di 30.° produce una corrente che passa tutta per un solo filo. Al contrario un solo elemento della stessa forza di 30.° eccita una corrente che perde nel medesimo passaggio $\frac{1}{10}$ circa della sua intensità.

Ecco un altro risultato degno d'attenzione per l'uso del nostro galvanometro. Una pila di 14 a 15 elementi della forza di 60.° produce una corrente che non passa tutta per un solo filo, ma passa interamente coll'aggiunta degli altri tre fili. Quando dunque si hanno delle pile composte almeno di 14 o 15 elementi della forza di 60.° circa, si è certi di scaricarle interamente attraverso i quattro fili. Le pile di cui si parla eccedono la mediocrità per l'estensione de' loro elementi i quali hanno da 21 a 30 pollici di superficie. È raro che se ne impieghino de' maggiori, e l'avviso servirà di norma per non ricorrere alla legge de' residui che quando sarà necessario.

Dopo quest' avvertenza non aggiungeremo altro alla ricerca de' residui. Non è questo il luogo di approfondirla maggiormente. Le considerazioni ed i risultati che abbiamo esposti, bastano ad indicare il modo che si ha da seguire per completare le misure del galvanometro. Sotto quest'aspetto la ricerca de' residui entrava nel piano del nostro lavoro, e noi non dovevamo, per risparmio di fatica, privare la Tavola delle intensità d'una così utile appendice. Ci siamo poi tanto più volentieri occupati di quest' aggiunta che così abbiamo avuto occasione di tracciare la via che si ha da battere per risolvere alcune importanti questioni di Galvanometria. Sinchè le pile sono *isolate* sviluppano sui loro poli una *tensione* che si misura coll'elettrometro. Tosto che forman circuito, svaniscono dalle pile i segni di tensione, ed in lor vece si manifestano altri effetti analizzati in mille guise, ma non mai bene misurati. È d'un tal numero la maggiore o minore facilità che hanno le correnti di traversare i liquidi interposti ed i fili congiuntivi. Offrono questi una resistenza che, per quanto io credo, non si misurerà mai con una certa esattezza che tenendo conto di que' residui, di cui abbiamo parlato sin ora.

Chiuderò il lavoro con una riflessione suggeritami dalle difficoltà che ho incontrate. Lo stato attuale della fisica è consimile a quello delle matematiche, le quali non presentano più che questioni di ardua soluzione. Le esperienze facili sono state fatte e variate in mille modi; le leggi semplici sono state scoperte: non restano che esperimenti difficili da eseguire, che leggi complicate da sviluppare. Siffatte difficoltà s'incontrano in tutti rami della scienza. Rispetto al ramo speciale della Galvanometria porrò in prima linea i bei lavori di Becquerel, Marianini, De La Rive, ec. ec. i quali contengono una folla di esperienze e di osservazioni interessantissime. Ma che? La mancanza di misure

esatte e comparabili si fa sentire generalmente; ed i materiali sono sparsi, ed informi. Resta da riunirli, da perfezionarli, da ordinarli in un corpo di dottrina. La Galvanometria in una parola, è un edifizio da innalzare dalle fondamenta. La sua base consiste in un galvanometro comparabile, e la Tavola delle intensità sarebbe già il primo piano dell'edifizio. Io ho tentato di fare e l'uno e l'altro. L'impresa, come avvertii sin da principio, era seminata di difficoltà. Amo di finire con questa medesima dichiarazione non tanto per raccomandar le imperfezioni del lavoro all'indulgenza dei fisici, quanto per eccitare questi Dotti alla ricerca di altri mezzi, quando non fossero giudicati sufficienti quelli ch'io propongo.

Reggio 1 Agosto 1829.

DESCRIZIONE

CIRCOSTANZIATA DEL GALVANOMETRO

Fig. 21. Prospettiva parallela dell'istrumento ridotto alla metà delle sue dimensioni naturali.

AA'A Tavola del galvanometro: è di legno e sostenuta da tre viti d'ottone *v*, *v*, *v* che servono a livellarla.

Dimensioni della tavola	Altezza.	30	millim.
	Larghezza. . .	220	»
	Lunghezza AA'	310	»

Queste dimensioni non sono di rigore.

TT. Telajo di legno, fissato alla tavola con quattro viti. Vedi i dettagli della fig. 22.

CC. Circolo graduato: è in ottone, e fissato al telajo con quattro piccole viti. Questo cerchio ha nel mezzo una fessura romboidale per lasciar passare l'ago *ns*.

DEF. Asta d'ottone piantata verticalmente sulla Tavola: essa si piega orizzontalmente in E, dove forma il braccio EF che sostiene alla sua estremità l'ago magnetico, sospeso al solito ad un filo senza torsione tratto dal bozzolo.

dfg. l'piccolo meccanismo applicato all'estremità F per sollevare ed abbassare l'ago magnetico.

HH'H. Campana di vetro che copre l'istrumento: è praticato nella tavola un incavo circolare per riceverla.

I, II, III, IV, V,.... Otto cavicchie o colonnette coniche a cui sono avvolte con più giri le estremità de' quattro moltiplicatori. Sono d'ottone, ed hanno quella forma per comodo delle comunicazioni: sono anche forate sulla cima per lo stesso motivo.

ns. Ago magnetico; è tagliato, della lunghezza conveniente, da un ago ordinario da calze. Questi aghi sono in commercio sotto il n.° 10, e vengono da Acquisgrana.

Lunghezza dell'ago *ns*. $= 83\ \frac{1}{2}$ mil.

Suo diametro. . . . . $= \frac{2}{3}$ di mil.

ii. Indice d'ottone.

pq. Piccolo cilindro d'ottone, composto di due pezzi che si uniscono a vite, e che portano, l'uno l'ago *ns*, l'altro l'indice *ii*. Il pezzo superiore è traforato nel mezzo per ricevere a fregamento la punta dell'anelletto *o* in cui termina il filo di sospensione.

Altezza pq = 8 mil.
Suo diametro = 2

Il peso del cilindro insieme coll'ago *ns* e l'indice *ii* è di 0,79 gramme. Il peso dell'ago solo è di 0,21 gram. La distanza fra l'ago e l'indice è di 12. mil.

Fig. 22. Telajo di Legno. Le dimensioni di rigore sono le tre, intorno cui s'avvolge il cordone de' quattro moltiplicatori: e sono . . . . . Lunghezza *ab* . . . . — 90 mil.
Larghezza *aa*=*bb* . . . . — 11
Altezza *cd* . . . . . — 13

Le sponde *mn*, *op* sporgono $2\frac{1}{2}$ mil. sopra i piani *c*, *d*: questo sporto basta per alloggiarvi dentro il cordone.

xy. Fessura romboidale, per cui passa l'ago magnetico. Le sponde superiori *mn*, *mn* secondano questa apertura in modo da lasciarla libera serrando contro le sponde stesse i giri del cordone. Questi giri si mantengono in quella posizione col mezzo d'una legatura che si fa con un filo di seta accavalcato alle sponde.

fffff. Orecchie d'ottone applicate alle sponde inferiori del telajo: servono a fissare questo telajo sopra la tavola.

I fili de' quattro moltiplicatori non sono torti insieme che per la lunghezza necessaria a compiere quattro giri, intorno al telajo. Dopo d'avere fatto insieme questi quattro giri, i fili si separano, e vengono così divisi ad attaccarsi alle colonnette I, II, III, . . . (Fig. 21.)

Le colonnette	I, II appartengono al	1°	filo
	III, IV «	2°	«
	V, VI «	3°	«
	VII, VIII «	4°	«

Il cordone è lungo 870. mil.: è torto di maniera che i suoi fili distesi sono lunghi 17 mil. di più. Le appendici che vengono a congiungersi alle cavicchie sono lunghe 150 mil. In questa misura non sono compresi i varj giri che le estremità dei fili fanno d'intorno alle colonnette: in questi giri s'impiega una lunghezdi 140 a 150 mil. Si supplisce a tutte le occorrenze tagliando de' fili della lunghezza di 1480 mil.

Il diametro de' fili è precisamente di $\frac{2}{1}$ di mill: coperti di seta un poco grossa, questi fili vengono ad occupare un millimetro circa. Non si isolano colla seta che dopo essere stati ricotti: così torcono più facilmente, e si adattano meglio al telajo.

NB. La condizione della conducibilità è garantita dalle di-

mensioni dei fili. Le picciole differenze di qualità che si possono incontrare fra rame e rame, non sono d'alcuna conseguenza.

L' istrumento va orientato di maniera che l'indice d'ottone cada dalla parte dell'osservatore: il che si ottiene voltando la parte di dietro verso il nord, e l'anteriore I, II, III,... verso il sud.

Digitized by Google

TAVOLA DELLE INTENSITA

FORZA DELLA CORRENTE in GRADI	Diff.	NUMERI	Diff.
1		1,00	
			1,00
2		2,00	
			1,00
3		3,00	
			1,00
4		4,00	
			1,20
5		5,20	
			1,20
6		6,40	
			1,40
7		7,80	
			1,60
8		9,40	
			1,80
9		11,20	
	✲ 2°,00		2,00
10		13,20	
	2,33		2,33
11		15,53	
	2,66		2,66
12		18,19	
	✲ 3°,00		3,00
13		21,19	
	3,33		3,33
14		24,52	
	3,66		3,66
15		28,18	
	✲ 4°,00		4,00
16		32,18	
	4,50		4,60
17		36,78	
	5,00		5,20
18		41,98	
	✲ 5°,50		5,80
19		47,78	
	6,00		6,40
20		54,18	
	6,5		7,10
21		61,28	
	✲ 7°,00		7,80
22		69,08	
	7,50		8,60
23		77,68	
	✲ 8°,00		9,40
24		87,08	
	8,66		10,59
25		97,67	
	9,33		11,86
26		109,53	
	✲ 10°,00		13,20
27		122,73	
	10,50		14,37
28		137,10	
	11,00		15,53
29		152,63	
	11,50		16,86
30		169,49	
	✲ 12°,00		18,19

FORZA DELLA CORRENTE in GRADI	Diff.	NUMERI	Diff.
31°		187,68	
	12°,33		19,19
32		206,87	
	12,66		20,19
33		227,06	
	✲ 13°,00		21,19
34		248,25	
	13,33		22,30
35		270,55	
	13,66		23,41
36		293,96	
	✲ 14°,00		24,52
37		318,48	
	14,33		25,74
38		344,22	
	14,66		26,96
39		371,18	
	✲ 15°,00		28,18
40		399,36	
	15,40		29,78
41		429,14	
	15,80		31,38
42		460,52	
	16,20		33,10
43		493,62	
	16,60		34,94
44		528,56	
	✲ 17°,00		36,78
45		565,34	
	17,40		38,86
46		604,20	
	17,80		40,94
47		645,14	
	18,20		43,14
48		688,28	
	18,60		45,46
49		733,74	
	✲ 19°,00		47,78
50		781,52	
	19,50		50,98
51		832,50	
	20,00		54,18
52		886,68	
	20,50		57,73
53		944,41	
	21,00		61,28
54		1005,69	
	✲ 21°,50		65,18
55		1070,87	
	22,00		69,08
56		1139,95	
	22,50		73,38
57		1213,33	
	23,00		77,68
58		1291,01	
	23,50		82,38
59		1373,39	
	✲ 24°,00		87,08
60		1460,47	

Digitized by Google

SULLE PILE A FORZA COSTANTE

NOTA ALLA MEMORIA PRECEDENTE

Dopo moltissimi tentativi credo d'essere finalmente riuscito a costruire delle pile termo-elettriche d'una forza costante e tale, per la sua intensità, da servire di verificatore al galvanometro comparabile. Le pile di cui parlo, sono composte di 25 coppie di bismuto e d'antimonio, le quali sviluppano una corrente della forza di 36.° del comparatore, eccitate che siano col calore dei due punti fissi della scala termometrica, ghiaccio in fusione, ed acqua bollente alla pressione di 28 pollici. Non vi ha, nelle correnti di queste pile, una differenza di forza d'un quarto di grado: si può dunque a giusto titolo chiamarle *a forza costante* e servirsene con fiducia sotto questo punto di vista. Io ne unirò due ai miei galvanometri comparabili, perchè se ne abbia una di riserva in caso d'accidente, ed anche per verificare con amendue la *Tavola delle intensità*, facendo uso del metodo delle doppie correnti (pag. 116). Le pile, colle loro appendici ordinarie, non danno che una sola corrente di forza costante, quella dei 36°: ma allungando i fili di comunicazione, od impiegandone a questo oggetto de' più sottili, si hanno tutte le correnti costanti che più piace da 1.° a 36.°. L'intervallo come si vede, ha un'estensione considerabile, la quale permette di fare un gran numero di verificazioni, e che presta di più i mezzi di studiare le leggi del termo-elettricismo molto meglio che non si è fatto sin quì. Non aggiungo altro per ora sull'uso di queste pile. Ne ho nel momento in costruzione un buon numero delle ordinarie di 25 coppie, e delle altre pur anche di forza maggiore: con questi materiali spero d'essere ben presto in grado d'intraprendere lo studio che indicai poc'anzi, e che condurrà se non altro ad un quadro di misure esatte in quel ramo d'elettrometria, che non ne possiede, si può dire, nemmeno delle approssimative.

(Rispetto alla forma delle pile già costruite, ed al modo d'eccitarle vedi il volume II.° all'articolo *Pile a forza costante*).

Firenze 26 *Dicembre* 1833.

ANALISI

SPERIMENTALE E TEORICA

DEGLI EFFETTI

ELETTRO-FISIOLOGICI DELLA RANA

CON UN' APPENDICE

INTORNO ALLA NATURA

DEL TETANO E DELLA PARALISI

ED AL MODO DI CURARE QUESTE DUE MALATTIE COLL' ELETTRICITA'

Sono ormai più di trent'anni che si tormenta la rana coll'azione dell'elettricità, e la rana continua tutt'ora ad eccitare la maraviglia del filosofo, che ne osserva attentamente i fenomeni. Le singolarità ch'essa presenta sono parecchie; ma non pare che i fisici si sieno fermati lungamente che sopra di una sola, quella cioè di scuotersi ora nel chiudere il circuito elettrico, ed ora soltanto nell'aprirlo. Questo fatto, la cui cognizione rimonta ai primi tempi del galvanismo, ha esercitato più volte la sagacità dei fisici; ma niuno aveva analizzato il fenomeno con quella diligenza ed acume che ha spiegato ultimamente il Prof. Marianini. Questo distinto Elettricista è, dietro le traccie di quella prima osservazione, giunto a certi risultati che meritano un'attenzione particolare, interessando non meno la fisica che la fisiologia.

All'occasione del mio lavoro intorno alla sensibilità comparativa della rana e del mio moltiplicatore a due aghi (pag. 67), ebbi campo d'osservare più e più volte le singolarità che accompagnano le contrazioni di quell'animale, e colpito alla vista delle molte anomalie, che s'incontrano in quel genere d'osservazioni, intrapresi fin d'allora una serie d'esperienze per veder pure se era possibile di scoprire la chiave di tutti quegli effetti. Un tale lavoro rimase sospeso per vari motivi che sarebbe inutile d'indicare; basti il dire che comparve intanto alla luce l'interessante memoria del Marianini (1). Io era già famigliarizzato con questo soggetto; ciò nondimeno i risultati dell'altro fisico mi col-

(1) *Annales de chimie et physique* Tom. XXXX. pag. 225.

pirono vivamente, e m'eccitarono a continuare, senz'altro indugio, il corso delle prime mie osservazioni. Le ricerche del Marianini combinano con alcune delle mie, rese ormai inutili; le altre però, e sono la maggior parte, m'appartengono esclusivamente, e forse presentano adesso un interesse maggiore di prima in grazia delle conseguenze particolari ch'io ne deduco. Comincio dall'esporre le conclusioni dell'altro fisico: questo mi sembra il miglior modo d'entrare in argomento.

conclusioni

del Prof. Marianini.

1.° « I principj su cui riposa la teoria delle pile non ci autorizzano ad ammettere in questi apparecchi alcun riflusso d'elettricità allorchè s'interrompe il circuito.

2. « Quand'anche questo riflusso avesse luogo, la scossa che l'animale prova al momento in cui cessa di far parte del circuito, non può essere attribuito a quella specie di rigurgito.

3.° « Le due specie di contrazioni prodotte nei muscoli dall'elettricità, vale a dire le *idiopatiche* e le *simpatiche*, meritano d'essere distinte le une dalle altre perciò che le prime hanno luogo qualunque sia la direzione della corrente, e le seconde allora solo che la corrente percorre i nervi in una direzione opposta alla loro ramificazione.

4.° « L'agitazione che provano le rane quando cessano tutt'a un tratto di far parte del circuito elettrico, proviene da ciò che l'elettricità, quando questa si move sui nervi in senso contrario alla loro ramificazione, fa nascere una scossa all'atto in cui cessa di penetrarvi, e non quando vi s'introduce.

5.° « Quando il fluido elettrico penetra i nervi in una direzione contraria alla loro ramificazione, in luogo d'una contrazione, esso produce una *sensazione* all'atto in cui si chiude il circuito.

6.° « Al contrario quando la corrente penetra il nervo secondo la sua diramazione, egli è nel punto in cui s'interrompe il circuito, che l'animale prova una *sensazione* ».

Questi risultati hanno tutti un certo grado d'importanza; gli ultimi due interessano per altro in un modo speciale e sono dessi per appunto, su cui rivolsi le mie mire nel ripigliare la serie delle antiche mie osservazioni.

Il Marianini prepara una rana in modo che i suoi membri inferiori, gambe e coscie, rimangano congiunti al corpo dell'animale con uno o con amendue i suoi nervi crurali, avendo cura di non scorticare la rana, e di portare il minor danno possibile

ai visceri. Pone egli la rana così preparata nel circuito, ed osserva ciò che accade, quando la corrente va dai piedi alla testa, contro cioè la diramazione del sistema nervoso, il quale parte dal cervello. Il fatto osservato consiste in questo che i membri inferiori si contraggono quando si apre il circuito; e che nel chiuderlo queste parti rimangono tranquille, le superiori danno invece segni di patimento, di dolore. Quando la corrente percorre il nervo nel senso della ramificazione si hanno i fenomeni inversi, la contrazione cioè dei membri inferiori nel chiudere il circuito, la sensazione dolorosa alle parti superiori nell'aprire.

Io ho ripetuto più volte quest'esperimento, e sebbene abbia ritrovato non pochi individui che hanno manifestato i segni di dolore tanto nel chiudere come nell'aprire il circuito, pure nella maggior parte de' casi ho riscontrato il fatto quale lo descrive il Prof. Marianini. Godo nel rendere giustizia a così abile osservatore; ma in pari tempo non deggio tralasciar di riflettere che ogni qualvolta ho collocato nel circuito la sola parte superiore della rana applicando i due conduttori *positivo* e *negativo* della pila sopra due punti qualunque del dorso o della pancia dell'animale ho sempre veduto rinnovarsi i segni di dolore, di cui parla il Marianini. E si noti bene che tali segni sono in questo caso maggiori di quelli che si manifestano nell'altra disposizione, e che succedono nel chiudere il circuito qualunque siasi la direzione della corrente. Il muscolo in allora è quella parte su cui si scarica immediatamente il torrente elettrico; questo non segue alcuna via regolare sul sistema nervoso, eppure la rana dà i segni più manifesti di dolore, come sono il contorcersi, l'affannarsi, lo spalancare e chiuder gli occhi, il gracidare ec. ec. In questo caso, direm noi, la rana addolora non già in grazia del nervo che propaga questa sensazione, ma in virtù delle contrazioni ordinarie del muscolo. Niuno de' visceri nobili è indifferente alla violenza di que' movimenti; tutti ne risentono, più o meno, l'influenza, e tutti rispondono col consueto lor modo di sentire. Resterà sempre, ne convengo, da spiegare come le contrazioni ordinarie nascono ora nel chiudere ed ora nell'aprire il circuito; ma l'ignorare la causa di tali alternative non iscema il pericolo d'affidare al nervo un uffizio non suo coll'accordargli, in date circostanze, l'incarico di propagare una sensazione dolorosa; perchè nell'esperimento del Marianini tutto il corpo della rana fa parte del circuito, e basta che il muscolo di quel corpo si contragga, perchè la rana abbia a soffrirne terribilmente.

Per togliere di mezzo ogni difficoltà bisognava, io credo, operare sul nervo solo. È fatto ben provato che quando si pone nel circuito, un tratto solo del nervo crurale i membri inferiori della rana si scuotono ora nel chiudere ed ora nell'aprire il circuito secondo che la corrente va da una parte o dall'altra In questa disposizione i membri inferiori sono fuori del circuito, e

se si scuotono, ciò non può derivare da altro se non che dal nervo il quale colpito dalla corrente *propaga* alle sue diramazioni l'eccitamento ricevuto. Ma nell'istesso caso che cosa succede egli ai membri superiori della rana? Nulla assolutamente, se l'esperienza è fatta a dovere, in modo cioè che il solo nervo entri nel circuito. Non vi ha dunque per quanto mi sembra, alcuna sorte di *propagazione* dal lato della testa, o se vi è, essa è d'un tal genere che la rana non la manifesta con segni esteriori. Perchè la rana si contragga nelle parti superiori, e dia colà segni di dolore, bisogna che quelle parti entrino nel circuito: in allora la corrente eccita i nervi nel modo ordinario, e le contrazioni che ne derivano, sono accompagnate da segni di spasimo ed affanno in virtù de' visceri più sensibili, a cui si propaga quel movimento.

Del resto per entrare nello spirito di questa materia devesi cominciare dall'istituire un'analisi accurata de' fenomeni che presenta il nervo sotto l'azione dell'elettricità. Questi fenomeni variano a misura che diminuisce nel nervo la naturale sua eccitabilità.

I fisici si sono finora limitati a distinguere due periodi d'eccitabilità; il primo *di grande eccitabilità*, in cui la rana si scuote tanto nel chiudere come nell'aprire il circuito; il secondo *d'eccitabilità diminuita*, nel quale le contrazioni compariscono solamente nel chiudere o nell'aprire il circuito.

A furia di esperimenti sopra qualche centinajo d'individui ho riconosciuto la necessità di distinguere cinque di questi periodi. Per iscoprire tutta quanta la legge del fenomeno, bisogna fare ad ogni momento quattro osservazioni. In realtà due sono le direzioni, con cui la corrente può entrare sul nervo, ed in ciascuna delle due direzioni si ha da esaminare ciò che accade nel chiudere e nell'aprire il circuito. Ciascuna delle quattro osservazioni va ben distinta dalle altre. Per evitare ogni confusione, e al tempo stesso per amore di brevità chiameremo sempre *corrente diretta* quella che andrà dalla testa ai piedi dell'animale percorrendo i nervi nel senso della loro diramazione; *corrente inversa* l'altra che andrà dai piedi alla testa contro la direzione delle diramazioni.

Distingueremo poi la circostanza del chiudere il circuito dall'altra dell'aprirlo con due sole parole; direm l'una *nel chiudere* o *chiudendo*, l'altra *nell'aprire* od *aprendo*.

Oltre a ciò si ha talvolta a parlare degli effetti che nascono in un'altra circostanza, nel tempo cioè che la rana resta esposta all'azione continuata della corrente elettrica. Il circuito è in allora *chiuso*, e basterà quest'espressione per indicare quell'intervallo.

Le osservazioni, che siamo per descrivere, si fanno sulla rana preparata alla foggia di Galvani, colla sola differenza che

non si lascia all'animale che un solo de' suoi due nervi crurali. Così siam certi che non vi ha in giro altra corrente che quella che introduciamo noi stessi nel nervo che si esplora; e non vi ha pericolo d'equivocare ne' risultati. Parleremo in seguito anche del muscolo; ma lo studio va cominciato dal nervo, e in modo da snaturarlo il meno possibile col sottoporlo all'azione di correnti piuttosto deboli. Un arco composto di due metalli, poco differenti nel senso voltaico, è il più adattato a quest'oggetto. Quello di cui mi servo ordinariamente è formato di due fili di *rame* e di *platino*; lo alterno però con un altro più attivo di *rame* e di *ferro* per ottenere, quand'occorre, gli effetti più distinti.

OSSERVAZIONI SUL NERVO SOLO

I.° PERIODO

Preparo una rana alla maniera di Galvani, lasciandovi, come ho detto, un nervo solo: non perdo tempo; applico subito su due punti di questo nervo le estremità del mio arco eterogeneo di rame e di platino, avendo cura di non toccare menomamente il muscolo. Osservo che la rana si contrae tanto nel chiudere come nell'aprire il circuito. Durante il tempo in cui resta chiuso il circuito, la rana non dà altri segni che quelli i quali derivano dalla sua vitalità. Ecco il quadro di questi risultati.

Corrente diretta	Chiudendo—Contrazioni Circuito chiuso—Nulla Aprendo—Contrazioni
Corrente inversa	Chiudendo—Contrazioni Circuito chiuso—Nulla Aprendo—Contrazioni

In questo primo periodo, nel quale la rana è molto eccitabile, le contrazioni che si manifestano nel chiudere, si confondono con quelle dell'altro tempo: che se qualche volta le scosse d'un tempo risultano più forti che le scosse dell'altro, talvolta pure si osserva il contrario. Queste irregolarità non meritano considerazione; perchè il nervo avrà naturalmente de' momenti di maggiore eccitabilità, e questi momenti combinandosi or colla circostanza del chiudere, or con quella dell'aprire deggiono necessariamente alterare i risultati.

Non è, per esempio, raro il caso d'osservare, nelle nostre rane, delle convulsioni tetaniche: ora in quello stato l'animale si scuote sovente più che non faceva un momento prima.

II.° PERIODO

A misura che la rana va perdendo della sua vivacità, le contrazioni dei due tempi del chiudere e dell'aprire acquistano de' caratteri particolari. Le differenze dipendono dalla direzione della corrente, e le prime a manifestarsi in una maniera degna di considerazione, sono le seguenti; trascurando d'ora in poi, di notare il tempo del circuito chiuso in cui non accade nulla di particolare.

Corrente diretta { Chiudendo — Contrazioni forti
Aprendo — Contrazioni deboli

Corrente inversa { Chiudendo — Nulla
Aprendo — Contrazioni forti

Questo periodo è rimarcabile in ciò che mette in evidenza una nuova proprietà, e si è che la corrente diretta continua a produrre i due effetti del chiudere e dell'aprire, mentre la corrente inversa non ne produce più che un solo, quello dell'aprire.

III.° PERIODO

Cala ancora l'eccitabilità della rana, e si osserva quanto segue,

Corrente diretta { Chiudendo — Contrazioni forti
Aprendo — Nulla

Corrente inversa { Chiudendo — Nulla
Aprendo — Contrazioni forti

In questo periodo la corrente diretta perde la facoltà d'eccitare la contrazione nell'aprire, e ritorna così, se non in realtà, almeno in apparenza, a pareggiarsi alla corrente inversa per ciò che risguarda l'intensità de' rispettivi loro effetti. Tutta la differenza consiste in questo, che ciò che accade ne' due tempi del chiudere e dell'aprire colla corrente diretta, accade ne' due tempi inversi colla corrente contraria. Il fenomeno in somma dell'inversione è ora completo. È questo il punto che hanno finora aspettato i fisici per istudiare la causa delle contrazioni; è senza dubbio uno de' momenti in cui la rana presenta pochissime anomalie, ma non è il solo su cui vada fermata l'attenzione, non contenendo infine che una parte degli elementi che vanno consultati nella ricerca della legge generale, che regola questa classe di fatti.

IV.° PERIODO

Diminuisce ancora la vivacità dell'animale; e si osserva ciò che segue:

Corrente diretta	Chiudendo — Contrazioni Aprendo — Nulla
Corrente inversa	Chiudendo — Nulla Aprendo — Nulla

Non resta dunque in questo periodo che una sola contrazione, quella della corrente diretta nel tempo del chiudere.

Questa contrazione ne aveva a fronte, nel periodo precedente, un'altra che sembrava della stessa forza: ora non ha più confronti, assicurando così una certa superiorità alla corrente che la produce.

V.° ED ULTIMO PERIODO.

Il nervo non risente più l'azione del nostro arco eterogeneo, e mancano in ogni caso le contrazioni. In questo momento il nervo è meno eccitabile di prima, e basta questa diminuzione per ispiegare la scomparsa d'ogni effetto. È bensì vero che il nervo si asciuga a poco a poco, e che coll'umido cala in esso la facoltà di condurre la corrente elettrica: con tutto ciò non si debbe a questa causa attribuire la mancanza delle scosse. Facciamo in fatti passare la corrente dal nervo al muscolo, mettendo nel circuito i membri inferiori della rana, e ricompariranno quasi sempre le contrazioni.

È poi inutile d'avvertire che quando si dice che il nervo non è più eccitabile, questo va inteso rispetto al grado della corrente con cui si esperimenta. Il nervo che non si eccita più coll'arco di platino e di rame, si eccita con un arco più attivo, e molto più facilmente ancora coll'azione delle pile.

TEORIA DELLE CONTRAZIONI

Considerazioni generali.

Due sono le correnti che noi introduciamo sul nervo, la diretta e l'inversa. Sì nell'uno che nell'altro caso si hanno da esaminare tre risultati differenti, i quali succedono.

il 1.° nel momento del chiudere il circuito;
il 2.° nel tempo del circuito chiuso;
il 3.° nel momento dell'aprire il circuito.

Egli è vero che la rana mentre fa parte del circuito chiuso,

non dà alcun segno di movimento; ma nemmeno per questo è da credere che la corrente, nel circolare sul nervo, non produca su questo un certo effetto. Sappiamo da una famosa esperienza di Volta, che una rana, lasciata mezza ora circa nel circuito d'una pila, non si scuote più sotto l'azione della medesima corrente. Al contrario la stessa rana si agita assai vivamente se si assoggetta all'azione della corrente contraria. Da ciò si vede che la continuata azione d'una corrente non disorganizza già il nervo, ma che lo altera però in un certo modo, mettendolo in uno stato diverso dal suo naturale. Se il nervo dura poco nel nuovo suo stato, esso non vi si abitua, e la forza che lo colpì la prima volta, produce il suo effetto anche la seconda, la terza, ec. ec.: che se si mantiene lungamente fuori del suo stato naturale, in allora esso si abitua al nuovo stato, e può durare in questo più o meno, anche dopo che non agisce più sopra di lui la causa che lo alterò a quel modo. Tolta dunque questa causa, e poi applicata di nuovo, essa trova il nervo in quello stato ch'essa tende a produrre, ed il nervo non se ne risente nè più nè meno di quel che faceva quando la causa era in continua azione sopra di esso.

La cosa invece cangia interamente d'aspetto quando s'inverte la corrente. Il nervo si era abituato all'azione d'una corrente che lo percorreva, per esempio, nel senso della sua diramazione. Ora lo togliamo da quest'azione, e lo assoggettiamo all'influenza della corrente opposta, che lo percorre contro il senso della sua diramazione. Tanto più il nervo si era abituato all'azione della prima causa, tanto meno sarà disposto a sopportare la seconda; e nulla dunque di più naturale che una rana morta in tal qual modo sotto la circolazione d'una corrente, si ravvivi tutt'a un tratto sotto l'influenza della corrente contraria.

L'esperienza or ora citata non c'insegna già in che consistano le modificazioni che soffre il nervo sotto l'azione delle due correnti, diretta ed inversa; ci dice unicamente quanto basta per essere sicuri che l'una modificazione è differente dall'altra, come sarebbe stato naturale di supporre indipendentemente dalla prova di fatto. Il nervo è fuor di dubbio costruito in guisa da propagare certi movimenti dal lato delle sue diramazioni, e basta ch'esso debba eseguire certe funzioni per un dato verso per dovere ragionevolmente presumere che abbia ad essere alterato differentemente quando la corrente lo percorre nelle due direzioni. Siamo ben lontani dal pretendere d'indovinare la struttura del nervo; ciò nulla meno ricorderemo, in via d'esempio, un fatto triviale sì ma concludente per il caso di cui si tratta. Si sa come si comportano certi animali allorchè si lisciano ora nel senso del loro pelo ed ora contro. L'animale tanto gode e si compiace sotto la prima fregagione, quanto s'irrita e si disgusta sotto la

seconda. Non pare che vi possa essere confronto tra la struttura delicatissima del nervo, e la molto più grossolana della pelle. Ora se un dato movimento, col cangiar semplicemente di direzione sulle parti meno sensibili degli animali, produce degli effetti così dissimili, quali differenze non dovremo noi aspettarci dai nervi quando questi, che sentono così squisitamente le più leggiere impressioni, saranno, nell' interno loro tessuto, eccitati da forze contrarie?

L' analogia non meno che l' esperienza ci autorizzano dunque a fissare questi due canoni elettro-fisiologici.

I.

Le due correnti, diretta ed inversa, agiscono diversamente sul nervo in guisa, che lo alterano, ciascheduna, in un modo particolare. Distingueremo le due alterazioni dal nome della corrente da cui derivano, dicendo l' una *alterazione diretta*, l'altra *alterazione inversa*.

II.

Queste alterazioni lasciano o non lasciano sul nervo traccia di se, secondo il tempo che il nervo rimase sotto l' azione della causa perturbatrice. Durano le traccie, se la corrente circolò sul nervo per lungo tempo, svaniscono invece se la circolazione continuò per poco tempo.

Per ciò che riguarda le contrazioni ordinarie della rana, dee subito ricordarsi, che esse non si manifestano che quando si apre o si chiude il circuito. Bisogna dunque ritenere che le scosse abbiano luogo allora soltanto che il nervo cangia bruscamente di stato. Sappiamo infatti da una bella esperienza del Marianini che basta introdurre a poco a poco sulla rana la corrente degli elettro-motori per veder mancare il fenomeno della contrazione. Di quì ne viene quest' altro canone.

III.

Il nervo non è eccitato efficacemente dell' elettricità che quando questo agente lo fa cangiare bruscamente da uno stato all' altro.

Ma quali sono questi stati? i tre seguenti.

1.° Stato naturale, prima di chiudere il circuito;

2.° Stato d' alterazione diretta, prodotto dalla circolazione della corrente diretta;

3.° Stato d' alterazione inversa, prodotto dalla circolazione della corrente inversa.

Non sappiamo, lo ripeteremo, in che consista la differenza di questi tre stati. Ciò non ostante si può sin da questo momento prevedere in quale occasione abbia da accadere la massima scossa. Due sono le condizioni che determinano quest'effetto; la prima che il nervo passi da uno stato all'altro, la seconda che un tale passaggio si faccia rapidamente. La scossa dunque più forte avrà luogo quando si combinerà la massima differenza di stato colla massima rapidità nel passare da uno stato all'altro.

Tali sono i principj e le considerazioni generali, secondo cui va, per nostro avviso, esaminato il fenomeno complicato delle contrazioni. Prima di venire all'applicazione di queste regole ai vari periodi della rana non ci resta altro che da fissare nitidamente lo stato della questione. Ciascuna corrente tende a scuotere la rana in due tempi diversi, nel chiudere e nell'aprire il circuito. Nel primo periodo le quattro contrazioni sono presso che eguali. Se queste contrazioni diminuissero nella stessa proporzione a misura che cala l'eccitabilità del nervo, il fenomeno non presenterebbe alcuna singolarità. La singolarità consiste in ciò che, dopo il primo periodo, le quattro scosse divengono di forza così diseguali, che spariscono l'una dopo dell'altra. Due di queste contrazioni scompariscono molto prima dell'altre due, e possono distinguersi col nome di *deboli* in confronto delle due più *forti* che si conservano di più. Ecco l'ordine con cui mancano le contrazioni;

1.° La più debole: appartiene alla corrente inversa, nel chiudere.
2.° La meno debole: alla corrente diretta, nell'aprire.
3.° La meno forte: alla corrente inversa, nell'aprire.
4.° La più forte: alla corrente diretta, nel chiudere.

Tale è la legge del fenomeno. Resta ora da vedere come si spieghi, e se vada soggetta a variazioni dipendenti dalla forza delle correnti; perchè bisogna pure ricordarsi che non abbiamo sin quì cimentato il nervo che con archi eterogenei di poca energia.

INTERPRETAZIONE
DELLA LEGGE DELLE CONTRAZIONI

1.° PERIODO

Corrente diretta	Chiudendo Aprendo	Contrazioni presso che eguali.
Corrente inversa	Chiudendo Aprendo	

In questo primo periodo le quattro contrazioni non presen-

tano, generalmente parlando, differenze sensibili. Quest' uguaglianza non dee già spiegarsi dicendo che l'elettricità agisce allo stesso modo nelle quattro circostanze. Una tale interpretazione sarebbe in contraddizione coi principj generali testè stabiliti. Bisogna in vece dire che l'elettricità esercita bensì un'azione particolare in ciascun caso, ma che l'eccitabilità del nervo essendo al sommo grado, questo si scuote in ogni circostanza troppo vivamente per accorgersi delle differenze dipendenti dalla natura dell'eccitamento. E questa spiegazione sembra così giusta che nel periodo di grande eccitabilità di cui si parla, si può sostituire ad un arco voltaico debolissimo un altro molto più energico senza riscontrare nelle contrazioni una disparità proporzionata alla differenza delle forze elettro-motrici. Il nostro arco ordinario è di rame e di platino; l'altro di rame e ferro produce a un dipresso gli stessi effetti.

II.° PERIODO

PRIMO TEMPO

Chiudendo { Corrente diretta—Contrazion forte
Corrente inversa—Nulla.

In questo tempo tanto la corrente diretta come la corrente inversa trova il nervo nel suo stato naturale, e vi si introduce con eguale facilità, perchè si suppone d'operare in parità di circostanze. Ma l'una corrente, la diretta, colpisce il nervo nel senso della sua diramazione, e produce una scossa assai sensibile; l'altra corrente, la contraria, colpisce il nervo nella direzione opposta e non produce effetto di sorte veruna. Il nervo ha una struttura particolare destinata senza dubbio all'uffizio di propagare certi movimenti per la sola via delle sue diramazioni. Suppongasi dunque, com'è naturale, che la corrente diretta produca il suo effetto perciò solo che nel primo suo sbocco colpisce il nervo nel senso delle sue fibre, e non farà caso come manchi la contrazione colla corrente inversa, la quale esercita la sua forza dal lato opposto, dove il nervo non ha diramazioni. Che se la medesima corrente inversa produce la scossa quando il nervo è più eccitabile, ciò non vorrà dir altro che il nervo tende come una corda elastica, a propagare il movimento ricevuto da amendue le parti, ma più assai per il verso secondo cui agisce la forza motrice che per il verso contrario.

SECONDO TEMPO

Aprendo { Corrente diretta — Contrazione debole.
Corrente inversa — Contrazione forte.

La circolazione della corrente diretta tende ad alterare la struttura del nervo nel senso delle sue fibre, nel senso della sua diramazione: la corrente contraria tende ad alterare quella medesima struttura nella direzione opposta. Supponiamo che la natura del nervo sia tale da tollerare più facilmente l'alterazione nel senso delle sue fibre, che nel senso contrario. In tale ipotesi, che non può sicuramente tacciarsi di stravagante, il nervo alterato dalla corrente diretta si troverà *ceteris paribus* in uno stato meno violento che il nervo alterato dalla corrente inversa. Nell'aprire il circuito, il nervo meno violentato sarà più vicino allo stato naturale, e produrrà una scossa debole; il nervo più violentato si troverà invece in uno stato più lontano dal naturale, e produrrà una scossa più forte.

III.° IV.° E V.° PERIODO.

Dopo gli schiarimenti or ora esposti gli effetti che succedono in questi tre ultimi periodi, non presentano più alcuna difficoltà. Cala nel nervo l'eccitabilità, e spariscono di mano in mano le contrazioni più deboli.

L'ultima a mancare è la scossa che appartiene alla corrente diretta nell'atto del chiudere: la penultima si è l'altra che appartiene alla corrente inversa nell'atto dell'aprire. Queste due scosse sono quelle del III.° periodo; esse si mantengono lungamente in forza e sono in certo modo *antagoniste* l'una dell'altra. Alla fine per altro la vince la corrente diretta col restar sola in grado di produrre la contrazione.

Variazioni della legge delle contrazioni.

Il sopravvento or ora riconosciuto nella corrente diretta è un fatto che risulta da osservazioni ripetute sopra un gran numero d'individui coi due archi eterogenei di rame e platino, di rame e ferro. Nel caso di queste forze così deboli la superiorità a favore della corrente diretta ci sembra decisa; ma lo sarà egualmente nel caso di correnti più energiche?

La corrente inversa produce anch'essa una contrazione forte, nell'atto dell'aprire, e questa, dovuta com'è all'alterazione organica che la circolazione della corrente inversa produce sul nervo, si comprende subito che sinchè una tale alterazione è di poca entità sotto l'azione di correnti deboli, l'effetto della scossa che le corrisponde, potrà perdere confrontato colla scossa che

deriva dall'immediata invasione della corrente diretta; ma si comprende egualmente che quella medesima alterazione può, sotto l'azione di correnti più attive, crescere al segno di superare, nel suo effetto, qualunque altro paragone. Ora questo è ciò che accade precisamente; e non occorre già, per verificare il risultato, passare dall'impiego di correnti debolissime a quello di correnti molto energiche: basta per lo più sostituire all'arco di platino e di rame un altro di rame e zinco per assicurarsi che l'ultima contrazione a mancare è quella della corrente inversa. Questo risultato è d'un'importanza che colpisce; si vede in fatti:

1.° Che la legge delle contrazioni non è costante, ma che varia secondo la forza della corrente;

2.° Che le correnti forti sono in proporzione più attive nell'aprire che nel chiudere il circuito; e viceversa, che le correnti deboli sono più attive nel chiudere che nell'aprire;

3.° Che bisognava fissare distintamente questa circostanza per non lasciarsi fuggire di mano la chiave del fenomeno;

4.° Infine che le viste fisiologiche s'adattano così bene alle variazioni che subisce la legge delle contrazioni nel cangiar la forza della corrente, che non si saprebbero, lo credo, comprendere in verun'altra maniera.

Gl'individui su cui abbiamo esperimentato erano in generale molto vivaci e piuttosto piccioli che grossi. La più gran parte delle osservazioni è stata eseguita in Autunno, dai 10 ai 15 gradi di temperatura. Io noto queste circostanze perchè non mi sorprenderebbe punto, che la legge delle contrazioni variasse non solo da una classe d'individui all'altra, ma eziandio sullo stesso individuo da una stagione all'altra. Ciò di cui non posso dubitare si è che gl'individui poco eccitabili, sia per lungo digiuno, sia per altri patimenti, presentano quasi tutti delle eccezioni alla regola generale. In questi individui la prima contrazione a mancare è bene spesso quella della corrente diretta nell'atto dell'aprire. Questa è una delle due contrazioni più deboli, e la sua scomparsa, prima dell'altra non eccita grande maraviglia: sorprende maggiormente ciò che accade in altri individui, sui quali manca una delle due contrazioni forti innanzi a qualcheduna delle deboli. Queste ed altre sono altrettante anomalie, le quali meritano uno studio particolare, e che noi tocchiamo di volo per non inoltrarci in un altro laberinto. Desideriamo però vivamente che un qualche fisiologo prenda interessamento a questo genere d'osservazioni, e che dia a questa materia tutto lo sviluppo di cui può essere suscettibile.

Carattere particolare
delle contrazioni nell' aprire il circuito.

Quando si apre il circuito, la corrente ha circolato più o meno tempo sul nervo. In grazia d' un tal giro il nervo soffre una data alterazione; ma questa alterazione, qualunque essa si sia, esigerà naturalmente un certo tempo per arrivare al suo maggior grado. Ora egli è evidente che bisognerà lasciare trascorrere un tal tempo, se si vorrà ottenere la massima contrazione di cui l'animale sia suscettibile in quella circostanza. Aprendo prima il circuito si avrà una contrazione più debole. Questa differenza è così manifesta che non vi ha forse fisico che non se ne sia accorto ne' suoi esperimenti. Il Marianini l'ha notata in un modo speciale; ed anche misurata con una certa approssimazione in una delle sue ricerche. In quel caso la scossa più forte aveva luogo dopo d' aver lasciato chiuso il circuito per 8 o 10 secondi (1), e quell' effetto era tre volte maggiore dell' altro che si otteneva lasciando chiuso il circuito per un solo istante.

Abbiamo già avuto occasione di ricordare l' esperienza di Volta relativa all' effetto che si osserva quando una rana resta mezza ora in circa, sotto l' azione d' una pila. Durante così lungo tempo il nervo acquista una nuova particolarità, quella d' abituarsi per modo al nuovo suo stato da non accorgersi del momento in cui viene liberato dalla causa che agiva sopra di esso. È questo un caso particolare di cui abbiamo già parlato, e che non richiede ulteriori schiarimenti.

Muscolo e nervo crurale.

Sin quì la nostra analisi si è aggirata sopra un solo sistema, il nervoso. Ora è da sapersi che la presenza del muscolo non altera la legge delle contrazioni che abbiamo riscontrata sul nervo crurale. Si metta infatti nel circuito la solita rana per modo che la corrente passi dal nervo crurale ai membri inferiori, e si osserveranno gli stessi effetti che abbiamo analizzato negli articoli precedenti. Vi ha sicuramente qualche differenza nell' intensità delle scosse, ma non cangia per questo la legge delle contrazioni. Questa legge sussiste la medesima sia che il nervo venga eccitato col muscolo o senza del muscolo.

Ho cercato di verificare con diligenza questo risultato, perchè mette in evidenza un principio fisiologico, su cui poteva rimanere qualche dubbio ad onta delle famose esperienze che Volta istituì per combattere le idee di Galvani; il principio è che il muscolo colpito dall' elettricità non si contrae mai per

(1) Memoria citata, pag. 242.

virtù propria, ma in grazia sempre del nervo che gli propaga l'eccitamento ricevuto. E difatti dal momento che la presenza del muscolo non altera in alcun caso gli effetti del nervo, bisogna necessariamente dire o che il muscolo è di tutto punto eccitabile come il nervo, oppure che lo stesso muscolo è puramente passivo in ogni circostanza. Ora l'accordare al muscolo l'eccitabilità del nervo ci sembra in fisiologia un tale assurdo da non esitare sulla scelta delle due opinioni.

Del resto se si potesse isolare il muscolo, come si fa il nervo crurale sarebbe facile in allora di verificare il fatto direttamente osservando come si comportasse il muscolo reso in tal modo indipendente dall'influenza del sistema nervoso. Ma l'esperimento non è eseguibile; perchè le ultime diramazioni nervose s'insinuano talmente nella sostanza del muscolo, che non si possono distinguere, molto meno poi separare. Ciò nulla meno vi ha una esperienza che supplisce, se non in tutto, almeno in gran parte a quella che non si può eseguire.

Sono noti i punti del muscolo che si contraggono più gagliardamente sotto l'azione immediata del fluido elettrico; sono i punti della polpa delle coscie e delle gambe. Prendete una rana delle più vivaci, ed applicate a que' punti una corrente debolissima, quella per esempio del nostro arco di rame e di platino. Questa corrente applicata al nervo è capace di far saltar la rana fuori delle tazze in cui pescano ordinariamente le estremità dell'animale; applicata invece al muscolo, sulle parti più irritabili, non produce effetto di sorte veruna. Il muscolo non la cede per certo al nervo in facoltà conduttrice: non basta: il contatto delle estremità dell'arco eterogeneo è molto più esteso sul muscolo che sul nervo. Tutte le circostanze militano a favore del muscolo, eppure questo non si contrae; perchè la corrente è così debole che non penetra dentro la sostanza del muscolo quanto basta per investire i punti veramente eccitabili, le estremità cioè delle diramazioni nervose.

Rispetto per altro all'eccitabilità del sistema nervoso è da notarsi che il nervo crurale si dissecca molto prima che non fanno le sue diramazioni sepolte nel muscolo. Queste diramazioni patiscono meno, e sono ancora eccitabili quando il nervo da cui partono, ha interamente perduta la sua virtù. Questa è la riflessione principale da non perdere di vista quando si confrontano i risultati del nervo solo con quelli del nervo e muscolo insieme.

La principale differenza sta in questo, che le contrazioni, le quali nascono eccitando il nervo solo, si perdono prima di quelle che si ottengono in compagnia del muscolo. E difatti coll'introdurre il muscolo nel circuito, non si fa altro che aggiugnere al nervo crurale non più eccitabile, qualcuna delle sue diramazioni che conservano ancora questa proprietà in mezzo ai loro naturali integumenti.

Muscolo solo.

Abbiamo poco fa veduto che il muscolo non si contrae, quando vi si applica sopra una corrente piuttosto debole. Colle correnti di maggior forza si scuote vivamente, e la scossa ha luogo nel chiudere il circuito. Nell'aprire, l'effetto è, in generale, nullo o debolissimo. Una tal differenza supera ogni aspettativa operando con pile di una certa energia, ed applicando i conduttori in modo che la corrente passi dall'una all'altra polpa delle gambe. Sieno pure queste gambe divaricate quanto si vuole: all'atto in cui si chiude il circuito si serrano vivamente l'una contro dell'altra. Al momento in vece in cui si apre il circuito, i muscoli si contraggono ben poco o nulla.

Quando il nervo crurale è nel circolo insieme coi membri inferiori della rana, la corrente è costretta a passar tutta per la via di quel nervo, e per conseguenza, se non per tutte le diramazioni nervose, almeno per le principali. Tolto il nervo crurale dal circuito la corrente non ha più alcun punto di riunione sul sistema nervoso: essa si diffonde per tutta la massa del muscolo traversando da *parte a parte* i fili nervosi che incontra per via, senza percorrerli nel senso della loro lunghezza che accidentalmente per pochi tratti.

Le contrazioni forti nel tempo dell'aprire, che abbiamo esaminato negli articoli precedenti, derivano sempre da un' alterazione organica prodotta dalla corrente nel senso della lunghezza del nervo. Ora questa alterazione manca nel caso presente, dove la corrente non segue la via d'alcun nervo principale, e con ciò cessa la causa delle forti contrazioni, nell'atto dell'aprire.

Per le scosse deboli, sussiste poi sempre uno o più filetti nervosi capaci di produrle in grazia della loro posizione che è tale da essere percorsi ed alterati dalla corrente per qualche piccolo tratto della loro lunghezza.

Le forti scosse che hanno luogo nel chiudere, non richieggono spiegazione. Nel primo suo sbocco la corrente invade tutta la massa del muscolo; attraversa bruscamente i nervi che incontra cammin facendo e ne agita le fibre in tutti i sensi. Queste contrazioni sono, come si vede indipendenti dalla direzione della corrente; e precisamente quelle che il Marianini chiama *idiopatiche*.

Dopo questi schiarimenti intorno alle contrazioni prodotte nella circostanza, in cui si esclude dal circuito il nervo crurale, non resta che un solo articolo da aggiungere per completare la nostra analisi: esso si riferisce ad una corrente di cui non abbiamo ancora parlato per non distrarre il leggitore dal punto principale della questione, la legge generale delle contrazioni.

Digitized by Google

CORRENTE DELLA RANA

La rana preparata alla foggia di Galvani è da se sola capace d'eccitare una corrente elettrica. Il muscolo delle parti inferiori, gambe e coscie, fa le funzioni d'elemento negativo, il nervo crurale fa quelle d'elemento positivo; sicchè compiuto il circuito con un arco omogeneo umido o metallico, si ha una corrente che percorre la rana dai piedi alla midolla spinale. È una corrente *inversa*; debole sì, ma che si manifesta a' miei galvanometri e che basta a scuotere la rana per un certo tempo (1).

Queste scosse hanno luogo in generale all'atto del chiudere il circuito. Gli individui per altro d'un' estrema vivacità si scuotono quasi egualmente nel chiudere come nell'aprire. Alcuni rari individui presentano il fenomeno della contrazione nel solo momento dell'aprire. Ecco il quadro di queste osservazioni.

Corrente inversa della rana { Chiudendo — Per lo più contraz.
Aprendo — Per lo più nulla.

Queste contrazioni non si ottengono, generalmente parlando, che per pochi minuti: in alcuni individui durano per altro un quarto d'ora ed anche più. Ad ogni modo l'animale perde sempre la sua eccitabilità prima che cessi in lui la forza elettromotrice, come dimostrano i miei galvanometri, i quali messi nel circuito di rane spente da lungo tempo indicano ancora la presenza della primitiva corrente. Il risultato è interessante, ed i fisici non anche provveduti del mio istromento possono verificare il fatto in altra maniera. Preparino una rana di fresco, e poi la mettano nel circuito di un'altra rana preparata molto prima ed impotente del tutto a scuotersi sotto l'azione non solo della propria corrente, ma di correnti ancora molto più considerabili. Vedranno la rana preparata di fresco agitarsi, quando sarà disposta nell' istesso senso dell'altra: la vedranno invece rimaner tranquilla quando avrà la posizione inversa. Nel primo caso le correnti delle due rane vanno per lo stesso verso; si aggiunge forza a forza, e la contrazione ha luogo sulla rana che la può manifestare per la sua vivacità; nel secondo caso le due correnti vanno da parti opposte, e la corrente della rana non eccitabile da gran tempo è ancora tale da elidere l'effetto della corrente che parte dalla rana piena di vivacità.

Questo risultato, come avvertii in un altro lavoro, dimostra forse meglio di qualunque altro argomento che la corrente della rana non dipende in alcun modo dall'eccitabilità, dalle forze vitali dell'animale(2). È una corrente, aggiungerò adesso, accidentale determinata dalle condizioni fisiche, nelle quali poniamo noi stessi la rana nel prepararla a quel modo. Volta, il sommo Volta

(1) Vedi la Memoria *Sui due galvanometri più sensibili* pag. 68.
(2) *Memoria citata* pag. 75.

riteneva che fosse una corrente messa in attività dall'eterogeneità di due conduttori umidi, il nervo ed il muscolo. Io amerei invece di registrarla fra le correnti *termo-elettriche*. Il muscolo egualmente che il nervo tendono naturalmente a disseccarsi in grazia degli umori che vanno perdendo a poco a poco. Tali perdite bastano a mantener un grado diverso di temperatura sulle due sostanze *muscolo e nervo;* e non occorre altra diversità per eccitare una corrente elettrica. Le mie esperienze provano in oltre che nei conduttori umidi, la corrente termo-elettrica va dal conduttor *caldo* al conduttor *freddo* (pag.87).Nel caso speciale della rana sarebbe il muscolo che farebbe le funzioni di conduttor caldo, il nervo farebbe quelle di conduttor freddo. Sembra infatti che la cosa non possa essere altrimenti, diseccandosi la picciola massa del nervo crurale molto prima che non fa l'altra assai maggiore delle gambe e coscie.

Del rimanente le contrazioni che prova la rana sotto l'azione della propria corrente, sono tali da giustificare sempre più la marcia che abbiamo seguito sin qui. La corrente della rana è *inversa*; e le correnti inverse producono la contrazion forte nell'atto dell'aprire (III. Periodo). Quì invece accade tutto il contrario, la rana scotendosi sempre nell'atto del chiudere, e ben rare volte nel momento dell'aprire. Ecco dunque una nuova variazione nella legge delle contrazioni; variazione che non dee recare alcuna maraviglia dopo l'altra che riscontrammo nel passare dagli effetti d'un elemento debole a quelli d'un elemento più forte. La corrente della rana è debolissima in confronto di quella del nostro primo elemento, l'arco di rame e di platino; e così debole com'essa è, niuna cosa di più verisimile ch'essa non valga ad alterare sensibilmente la struttura del nervo mentre vi circola sopra. Lo lascia, diremo, nel suo stato naturale, e così manca la causa della contrazione nell'atto dell'aprire, conformemente allo spirito del III. Canone.

I risultati della corrente della rana rendono alla scienza un altro servigio; servono a fissare definitivamente le idee intorno all'opinione di que' fisici, i quali spiegavano le contrazioni che nascono nell'aprire il circuito, col derivarle da un riflusso di elettricità che si determina al momento in cui si sospende bruscamente la circolazione della corrente. Il Prof. Marianini provò già egregiamente che non poteva in alcun modo giustificarsi l'idea d'un tale rigurgito; pure mi piace d'aggiungere una prova di fatto che basta da se sola a distruggere quell'ipotesi, indipendentemente da qualunque sorta di ragionamento.

La corrente della rana è inversa; il suo riflusso, nell'atto dell'aprire, sarebbe nel senso della corrente diretta. Dovrebbe per conseguenza aversi la scossa di questo momento e mancar l'altra del primo tempo del chiudere. Accade precisamente tutto il contrario.

Oltre a ciò l'effetto d'un riflusso potrebbe egli mai sorpassare l'effetto del primitivo sbocco della corrente? Eppure l'esperienza c'insegna che questo secondo effetto la cede al primo quando la corrente giunge ad un certo grado di forza. Più si approfondisce questo soggetto, e più si sente il bisogno di non accordare alle cause fisiche che una sola parte nell' uffizio di spiegare questa classe di fatti così complicata e stravagante. L' altra parte, ed è la maggiore, va confidata alle condizioni patologiche dell' animale.

APPENDICE

Contrazioni tetaniche.

Fra le rane preparate alla foggia di Galvani se ne incontrano parecchie le quali tendono ed irrigidiscono i loro membri inferiori in modo che si piegano a fatica: dopo però d'essere stati piegati ritornano subito al primitivo stato di rigidezza. È questa una specie di *tetano*, o di *convulsione tetanica* (1). Altri individui si mantengono invece con i loro membri in uno stato di totale rilasciamento e pieghevolezza. Sì gli uni che gli altri individui si agitano sotto l' azione degli elettro-motori; ma l' agitazione de' primi, che hanno già i lor membri contratti, e tesi, consiste più in una *contorsione* che in una vera contrazione; i secondi al contrario dai membri rilasciati presentano le contrazioni propriamente dette. In tal momento la rana distende i suoi membri, e gl' irrigidisce come se fosse per cominciare in lei una convulsione tetanica. Queste convulsioni durano sempre lungamente; le contrazioni invece passano ordinariamente in un momento, e dico *ordinariamente* perchè vi ha modo di renderle *permanenti* in guisa da confonderle cogli effetti del tetano naturale. Basta per questo interrompere e ristabilire così rapidamente il circuito che la contrazione che nasce in un momento, non isvanisca innanzi che sopraggiunga l' effetto del momento successivo. Si toglie così alla rana l' occasione di rilasciarsi da una contrazione all' altra, ed i suoi membri rimangono tesi ed irrigiditi come nel caso del tetano naturale. Quest' analogia suggerisce diverse idee sulla natura del tetano e della paralisi, non che sul modo di curare queste due terribili malattie.

(1) Quanto gl' individui sono più vivaci, tanto essi vanno più facilmente soggetti al tetano. È ben raro che un individuo patito o mortificato irrigidisca i suoi membri dopo d' essere stato preparato alla solita maniera. Questa osservazione non va perduta di vista nelle considerazioni che seguono.

Viste patologiche sulla natura del Tetano e della Paralisi e sul modo di curare queste due malattie.

Le contrazioni della rana moltiplicate al segno di produrre un tetano artificiale si hanno interrompendo e ristabilendo il circuito ad ogni momento. In queste interruzioni e ristabilimenti il nervo cangia continuamente di stato, passando bruscamente dallo stato naturale all'alterato, e da questo a quello alternamente. È dunque probabile che anche il tetano naturale sia dovuto ad alternative di questo genere, indipendenti da qualunque principio di disorganizzazione. In tali alternative, o passaggi rapidi da uno stato all'altro, le fibre del nervo saranno, io suppongo, in continua agitazione; e questa sarà probabilmente la causa fatale, la quale eccitando continuamente il sistema nervoso cagiona la morte dell'individuo, appunto per tenere in continuo esercizio un sistema destinato pure dalla natura a godere i suoi momenti di riposo.

Nel cimentare una rana presa da un tetano il più deciso osservai due anni fa ch' essa si manteneva in quello stato sotto l'azione d'una data corrente, e che rilasciava completamente i suoi membri sotto l'azione della corrente contraria. A quell'epoca replicai più volte l'esperimento sopra altri individui colpiti da tetano; ma non vidi più mai lo stesso fenomeno, forse che adoperai la prima volta una corrente più energica, o che il tetano di quel primo animale era per natura o per grado differente da tutti gli altri, o forse per altri motivi che restano ancora da fissarsi distintamente. Certo è che ho ultimamente osservato lo stesso fatto sopra due altri individui e che per conseguenza esso merita d'essere studiato di nuovo, e seguito in tutte le sue circostanze. Io cito frattanto questo risultato, non già per dedurne una legge, ma solo per dire che l'azione continua delle correnti elettriche in un dato senso od in amendue potrebbe essere lo specifico, il calmante del tetano. E difatti se il tetano proviene, come io presumo, da un'agitazione continua delle fibre del nervo, come mai sospendere un tale movimento meglio che coll'azione d'una corrente continua capace d'alterar tutta la struttura del nervo senza disorganizzarlo? Potrebbe anche darsi che la corrente continua non fosse capace di frenare l'agitazione tetanica una volta determinata, ma che impiegata prima di quest'orgasmo valesse ad impedirne lo sviluppo. La corrente continua sarebbe in allora, se non il rimedio, il preservativo almeno del tetano, in tutti que' casi dove si potesse temere questo terribile effetto. Nè la speranza è così destituita di fondamento da valutarsi per poco o nulla: un fatto ben provato la sostiene validamente. È sicuro che la corrente continua altera il nervo in un certo modo, e che questa alterazione portata a un certo se-

gno resiste con successo alla causa delle contrazioni, perchè quando una rana è stata mezza ora circa nel circuito d'una pila, essa non si contrae più sotto quello stesso stimolo che la faceva contrarre dapprima. È un fatto insomma fuori di dubbio che il nervo perde una parte della sua eccitabilità, della sua virtù d'eccitare delle contrazioni, quando si mantiene lungamente nel circuito d'una corrente: ma le contrazioni non sembrano in generale che un tetano passeggiero; e se la corrente è capace di garantire il nervo da questa specie di tetano, per qual ragione non potrebbe essa avere la stessa virtù per il tetano ordinario? E si osservi bene che nel momento in cui si manifesta sulla rana una convulsione tetanica, allora appunto il sistema nervoso gode d'una sensibilità più squisita, come dimostra il fatto delle scosse più vive in quel momento che prima (pag. 139). Ora se i primi momenti d'un tetano sono pel nervo momenti d'un eccessivo esaltamento, qual mezzo migliore di prevenire l'effetto, che d'abbassare sul nervo il grado della sua eccitabilità per modo che questa forza non possa più, sotto l'azione delle stesse cause, pervenire al punto che le compete nella circostanza del tetano?

Passando ora dal tetano alla paralisi dimanderemo noi che cosa si tratta di fare quando si applica l'elettricità ad un membro paralitico? Si tratta d'eccitare il sistema nervoso di quella parte in modo che risponda all'eccitamento ricevuto con qualche movimento. L'azione continua della corrente elettrica tende in certo modo ad istupidire il nervo col toglierví una parte della sua eccitabilità; l'azione invece d'una corrente discontinua, resa tale coll'artifizio d'interrompere e ristabilire rapidamente il circuito, tende all'effetto opposto, a tenere in tale esercizio l'eccitabilità del nervo da produrre il tetano artificiale. Nella paralisi il sistema nervoso ha perduta la sua eccitabilità, nel tetano ne ha acquistata di troppo. La cura debb'essere contraria; al tetano va applicata l'elettricità voltaica in corrente continua per istupidire il nervo; alla paralisi va applicata in corrente discontinua per risvegliarlo ad ogni momento (1).

Queste idee mi sembrano seducenti; ad ogni modo non bisogna lasciarsi illudere, molto meno poi disprezzare de' suggerimenti dettati, io credo, dalla sana filosofia. Niuno dee arrogarsi i diritti della gran maestra in tutto, l'esperienza. Ad essa sola tocca l'uffizio di confermare o distruggere le conghietture dedotte dai fatti. Io ho esposte candidamente le mie, e candida-

(1) L'elettricità ha goduto sì gran credito nel trattamento di molte malattie, che è stata forse impiegata in tutti i modi possibili. Non intendo dunque di proporre de'metodi nuovi; s'intende unicamente di regolare la pratica medica secondo certi principj invece di continuare a servirsi del fluido elettrico in un modo totalmente empirico come si è fatto finora.

mente desidero che vengano assoggettate a prove decisive dalle persone dell'arte per servire, nel caso di qualche successo, al sollievo dell'umanità. Questo è ciò che dee interessare assai più che la lusinga d'aggiungere un qualche sterile risultato alla scienza.

Reggio il 1.° Dicembre 1829.

Digitized by Google

TERMO—MOLTIPLICATORE

OSSIA

TERMO-SCOPIO ELETTRICO

La prima volta che feci conoscere il mio moltiplicatore a due aghi, indicai varie esperienze tendenti a dimostrare la sensibilità di quell' istrumento. Notai fra gli altri risultati che due soli gradi di calore applicati ad una delle giunture d'un elemento termo-elettrico bastavano a produrre sull' indice magnetico una deviazione di 15 a 20 gradi (pag. 4). Sin d'allora mi parve che un galvanometro costruito con tutte le regole dovesse divenire un termometro differenziale d' un' estrema sensibilità. Distratto da molte altre occupazioni non potei che l'estate scorsa pensare seriamente alla costruzione d' un tale istrumento. Dopo varj tentativi mi sono fermato ad una disposizione che presenta molti vantaggi, e che per la sensibilità supera di gran lunga il già squisitissimo termometro di Breguet.

L'istrumento è composto di due pezzi principali d' un galvanometro a due aghi, e d'una scatola termo-elettrica SS (fig. 23). Il galvanometro differisce ben poco dalla forma che soglio dare ai miei galvanometri portatili: la principale differenza sta nel telaio, il quale ha delle dimensioni particolari, dovendo esso servire per un filo più corto di quello che gira d'intorno agli altri telaj.

La scatola SS contiene una pila termo-elettrica composta di sei elementi di bismuto e d' antimonio. La fig. 24 dà un' idea di questi sei elementi posto che fossero situati sulla medesima linea: sono invece disposti a corona per entrare tutti nella scatola SS. Non si veggono che le giunture dispari 1, 3, 5, : . . : le pari 2, 4, 6, . . . sono sepolte nella scatola, e non si veggono là dentro perchè la scatola è piena di mastice. Le giunture superiori sporgono due linee circa dal mastice.

Le estremità A, B della pila sono saldate a due appendici A', B', le quali escono dalla scatola e servono a completare il circuito col mezzo di fili che si mettono in comunicazione colle estremità del moltiplicatore. Tutte le appendici sono di rame, come lo è il filo del galvanometro.

La scatola è fatta in modo da collocarsi, volendo, sul galvanometro. In allora l'istrumento si può introdurre dentro un recipiente qualunque, come sarebbe, per esempio, una campana pneumatica onde osservare il freddo che nasce al momento in

cui si fa il vuoto. Tutte le giunture dispari 1, 3, 5, . . . degli elementi della scatola sono ad immediato contatto dell'aria della campana, e si raffreddano, ai primi colpi dello stantuffo. Le giunture inferiori sono sepolte nel mastice; non sentono l'impressione del freddo, e ne risulta una corrente elettrica che agisce al solito sugli aghi magnetici del galvanometro. Si può fare la stessa esperienza tenendo il galvanometro fuori della campana: basta che vi sia dentro la scatola SS.

Questo strumento ha molti vantaggi sopra i termometri sin qui conosciuti.

1.° La sua sensibilità è da 15 a 20 volte maggiore di quella del termometro di Breguet. Un movimento infatti di due gradi circa in quest'ultimo istrumento è segnato nel termo-moltiplicatore da un arco di 30 a 40 gradi. Per dare un'idea grossolana della differenza di sensibilità dei due termometri soglio far fiatare la stessa persona sopra la spirale di Breguet, e sulla scatola SS. Il primo strumento dà un movimento di 10 a 12 gradi, mentre il secondo è capace di produrre un giro di 150.° e più.

2.° L'indice del termo-moltiplicatore è da una parte, la sostanza termometrica da un'altra. Questa sostanza che vale quanto dire la pila della scatola SS si può tenere a quella distanza che più piace, dal galvanometro: basta conservare le comunicazioni con fili della lunghezza che conviene. Una tale separazione può essere utile in molte circostanze; per esempio in quelle esperienze delicate dove l'osservatore può temere d'alterare i risultati coll'influenza del proprio calore.

3.° Coi termometri ordinarj non si può scandagliare la temperatura d'un vaso, se questo non è trasparente al segno da lasciar vedere la graduazione. Questa condizione è assolutamente inutile per il termo-moltiplicatore. Si pone la scatola nel recipiente oscuro; ed il galvanometro se ne sta fuori in quel luogo che più conviene all'osservatore.

4.° La sostanza termometrica, chiusa nella scatola SS si può impiegare in tutti i casi senza alcun riguardo non andando soggetta nè a rompersi nè a sconcertarsi. Si può, per esempio, dirigere con un soffietto una corrente d'aria sopra uno o più elementi della pila per osservare se vi ha in tal caso sviluppo sensibile di calore. Il termometro di Breguet non si presta a quest'esperienza nè a molte altre della stessa natura.

5.° Resta ancora da sapere se l'acqua sviluppi del calore all'atto della sua compressione. Il termometro di Breguet non diede alcun indizio nelle esperienze che fecero i Sigg. Colladon e Sturm. Converrà ripetere l'esperimento col termo-moltiplicatore, che è molto più delicato.

6.° Gli esperimenti sulla forza calorifica de' varj colori dello spettro non sono abbastanza decisivi. Gioverà ripeterli col nuo-

Digitized by Google

vo istrumento che si presta benissimo a questo genere d' osservazioni sia lasciando alla scatola la forma che ha, sia modificandola secondo le occorrenze.

7.° L' istrumento può servire con vantaggio in tutte le ricerche relative alla natura del calorico raggiante; ec. ec. ec.

La forma di scatola che ho dato alla pila termo-elettrica, mi sembra la più comoda per il maggior numero de' casi. Questa costruzione è la più semplice: converrà per altro d'avere una qualche scatola a *fondo mobile*, onde mettere, quando aggrada, a scoperto le giunture pari 2, 4, 6, (fig. 24.) per servirsene come delle superiori 1, 3, 5, . . . Mettendo nel ghiaccio fondente l'una o l'altra serie di giunture, si avrà da questo lato una temperatura costante, che permetterà di fare degli esperimenti di confronto in tutte le circostanze.

In questo istrumento le dimensioni del moltiplicatore sono tali da produrre il massimo effetto sotto l'azione delle correnti termo-elettriche. Ad onta di ciò l'istrumento è sensibilissimo anche all' influenza delle correnti idro-elettriche sicchè può servire anche per queste senza aver bisogno di ricorrere ai miei moltiplicatori di maggior forza, che nel caso speciale di qualcheduna delle mie esperienze più delicate. Per ottenere in ogni caso il massimo grado di sensibilità bisogna avere due galvanometri, l' uno per le correnti termo-elettriche, l' altro per le idro-elettriche; volendone per altro un solo va preferito quello che unisco al termo-moltiplicatore perchè riunisce in se un maggior numero di vantaggi.

Reggio 2 Dicembre 1829.

NOTA

Sopra alcuni perfezionamenti eseguiti al Termo-moltiplicatore.

Nel far conoscere questo nuovo istrumento, ebbi cura fra le altre cose, di notare che se ne poteva servire con vantaggio nelle ricerche relative al calorico raggiante, ed all'intensità calorifica dei differenti raggi luminosi che compongono lo spettro solare. Feci anche osservare che la scatola termo-elettrica ordinaria poteva servire per molte esperienze, ma che avrebbe bisognato costruirne delle altre di forma differente per adattarle a tutti gli usi possibili.

La pila del mio apparecchio contiene ordinariamente sei elementi di bismuto e d'antimonio, di cui le saldature esterne sono affatto scoperte, mentre le altre che si trovano tutte dalla medesima parte, verso il fondo della scatola, sono immerse totalmente dentro una massa di mastice. Ora, come può accadere in certe esperienze che si deggiano applicare de' corpi più o meno caldi, successivamente od insieme, alle saldature superiori ed inferiori, non dimenticai di far osservare che sarebbe stato conveniente d'avere una pila nella quale si potessero effettuare queste operazioni con facilità.

Allorchè una di tali scatole è posta nel mezzo d'una camera, la faccia superiore della pila girata successivamente verso le quattro pareti della camera dà de' segni non equivoci delle differenze di temperatura dipendenti dalla loro posizione locale. Si sa che il lustro metallico è un ostacolo all'assorbimento del calore: le saldature della pila termo-elettrica devono dunque risentirsi molto meglio della presenza de' raggi calorifici, coperte che siano di qualche sostanza assorbente, com'è il nero-fumo. È ciò che accade precisamente; annerite difatti in tal modo le teste degli elementi, l'apparecchio acquista un nuovo grado di sensibilità, e scopre molto meglio le differenze di temperatura delle pareti della camera, nell'esperienza or ora indicata.

Ulteriori ricerche hanno poi provato che la facoltà di riconoscere la presenza del più debole grado di calore, può essere comunicata al termo-moltiplicatore ad un grado sorprendente, e quasi direi incredibile.

Il Sig. Macedonio Melloni, Professore di fisica all'Università di Parma, essendosi provveduto d'uno de' miei termo-moltiplicatori, lo sottopose a diverse prove, e s'accorse ben presto che questo istrumento, superiore a tutti gli altri del medesimo genere, allorchè si tratta di scoprire, nel contatto, le più piccole differenze di temperatura fra i corpi, non agiva più con altrettanta delicatezza per l'irraggiamento. Nell'idea di renderlo più

attivo, sotto quest'ultimo rapporto, egli ha costruito una nuova pila di sedici elementi molto sottili, totalmente scoperti, anneriti e sostenuti, verso le saldature superiori, da un disco di legno traforato e coperto di mastice. La scatola poi che contiene gli elementi, è metallica, a doppio fondo, e guernita di più dal lato superiore, d'uno specchio conico di metallo. Il tutto in fine è portato da un piede combinato in modo da poter girare l'apparecchio in tutte le direzioni.

Questa costruzione, alla quale si riconosce l'abile fisico, adempie perfettamente il suo scopo. Scoprendo lo specchio, diretto dapprima verso il soffitto d'una sala qualunque, si vede subito l'ago del galvanometro deviare di parecchi gradi: la deviazione cangia colla direzione più o meno obliqua dell'asse dello specchio, ma ritorna la medesima dinanzi alle medesime località; il che prova evidentemente che l'effetto è realmente dovuto all'irraggiamento de' muri lontani, e non già al contatto dell'aria ambiente. Se si chiudono tutte le finestre della camera, una sola eccettuata, e se si faccia girare l'apparecchio ora verso la finestra aperta, ed ora verso il muro opposto, l'indice magnetico descrive degli archi di 30 a 60.° qualunque sia l'ampiezza del locale in cui si fa l'esperimento.

Uno de' grandi vantaggi dell'inviluppo metallico, è di permettere all'osservatore d'avvicinarsi all'istrumento senza temere che il calore della sua propria persona influisca sui risultati dell'esperienza; basta infatti ch'egli abbia l'attenzione di collocarsi dietro il fondo della pila, quando l'asse dello specchio è orizzontale, perchè i raggi calorifici dell'individuo colpiscano le pareti dell'inviluppo, e si riflettano indietro senza alterare la temperatura degli elementi interni. Si possono allora fissare gli oggetti, che si vogliono esperimentare, all'estremità di lunghi bastoni, e portarli dinanzi allo specchio. Un pezzo di tela bagnata, e raffreddata d'un solo grado al disotto della temperatura dell'ambiente, esercita sull'ago dell'istrumento un'influenza marcatissima, sebbene agisca a cinque o sei piedi di distanza dallo specchio.

Io ho tratto partito da questi perfezionamenti nella costruzione d'una seconda pila, che unirò d'ora innanzi al mio primo termo-moltiplicatore; questa pila è composta di quaranta elementi, e simmetrica da amendue le parti, guernite ciascuna d'uno specchio d'egual forza. Così si potrà servire indistintamente delle due faccie della pila, e stabilire de' confronti esatti fra le temperature simultanee di due oggetti differenti. Per avere un'idea della prodigiosa sensibilità di quest'ultimo apparecchio, basterà il dire ch'esso si risente del calor naturale d'una persona alla distanza di diciotto a venti piedi.

La grande delicatezza di questi nuovi termoscopj ci ha determinati, il Sig. Melloni ed io, ad intraprendere una serie d' esperienze che pubblicheremo quanto prima. Aspetteremo allora ad entrare ne' dettagli relativi alla loro costruzione ed al modo di servirsene (1).

Reggio 24 *Aprile* 1830.

(1) Vedi il II. Vol. all'articolo *Termo-moltiplicatore*.

Digitized by Google

SUI COLORI

IN GENERALE ED IN PARTICOLARE

SOPRA

UNA NUOVA SCALA CROMATICA

dedotta

DALLA METALLOCROMIA

AD USO DELLE SCIENZE E DELLE ARTI

Scopersi nel 1826 una nuova classe di fatti, a cui diedi il nome di apparenze *elettro-chimiche*. Uno degli esperimenti principali consiste in questo: si dispone una punta di platino sopra una lamina di questo stesso metallo per modo che ne rimanga distante una mezza linea in circa. La punta insiste verticalmente sulla lamina, la quale ha la posizione orizzontale sul fondo d'un vaso di vetro o di porcellana. Si versa dentro questo recipiente una soluzione d'acetato di piombo in guisa che copra non solo la lamina di platino, ma due o tre linee ancora della punta. Si pone alla fine in comunicazione la punta col polo negativo d'una pila, e la lamina col polo positivo; e si vede all'atto istesso in cui si compie il circuito, formarsi sulla lastra, precisamente al disotto della punta, una serie d'anelli colorati consimili a quelli che compariscono in mezzo alle lenti di Newton. Questo fatto, che sorprende la prima volta chiunque l'osserva, mi condusse alla scoperta di parecchi altri, che pubblicai in quattro memorie successive (1). Previdi fin dal primo momento il partito che potevano ricavare le arti da questo nuovo metodo di colorare i metalli; ma non fu poi che verso la fine del 1827 che cominciai ad occuparmi seriamente di questa applicazione. Trascorro sui primi tentativi per fermarmi un momento sui prodotti che ottenni nel corso del 1828, e che presentai in novembre dello stesso anno all'Istituto di Francia. Consistevano questi in molte lamine colorate, che per la bellezza delle tinte, per la precisione de' contorni, e la dolcezza delle sfumature attirarono a sè gli sguardi di tutta quell'illustre assemblea. L'arte

(1) *Bibl. Univ.* Tom XXXIII, XXXIV. XXXV, XXXVI. *Annales de Chimie, et de Physique* Tom. XXXIV, XXXV.

era ormai giunta al segno di prender posto fra le altre: le conveniva un nome per distinguerla; fu scelto quello di *Metallocromia* per consiglio degli stessi dotti dell'Istituto. Dopo quell'epoca io ho perfezionato di molto i miei metodi, ed ora i lavori che sembravano dapprima bellissimi, sfigurano grandemente vicino a quelli che eseguisco attualmente. Una delle grandi difficoltà era quella d'applicare delle tinte uniformi sopra lastre d'una certa estensione. E difatti i miei colori essendo prodotti da *lamine sottili* applicate alla superficie de' metalli, si comprende la difficoltà di conservare una di quelle lamine della stessa grossezza sopra una superficie alquanto estesa. Ma se le difficoltà erano grandi, l'arte non meno che la scienza reclamavano da me ogni cura per superarle: l'*arte* perchè col sussidio delle tinte uniformi acquistava un'estensione molto maggiore di prima: la *scienza* perchè in quelle medesime tinte prodotte da lamine d'una particolare grossezza, il fisico veniva a procacciarsi i materiali più acconci per indagare la natura, e le proprietà dei colori.

Io non entrerò per ora in tutti i dettagli relativi al modo di procurarsi le tinte omogenee. Il principio delle *apparenze elettro-chimiche* mi sembra ormai fecondo abbastanza in risultati da meritare d'essere sviluppato in un trattato speciale. Questo lavoro riuscirà d'una certa estensione; ed io me ne sto già occupando, raccogliendo ed ordinando tutti i materiali che hanno da entrare in questo nuovo ramo di fisica, dove cogli altri metodi di colorazione esporrò dettagliatamente pur quelli che appartengono alle tinte uniformi. Quì basterà l'avvertire che tali tinte si ottengono sostituendo delle lamine piane alla punta di platino che serve a formare gli anelli colorati.

Questa memoria è destinata ad un oggetto più speciale. Io ho disposto quelle tinte omogenee nel loro ordine naturale: formano così una *scala* o *gamma*, che chiamerò d'ora innanzi *cromatica*. Sarà questa il soggetto principale del presente lavoro.

La scienza non intende mai così bene il proprio interesse come quando mira allo scopo dell'utilità col prestar mano alle arti. Vorrei sperare che tale fosse la direzione di queste mie indagini. Egli è vero che gli artisti, stranieri come sono in generale alle teorie della fisica, non potranno così facilmente seguirmi nelle questioni che dovrò trattare in questa memoria: ciò nulla meno il lavoro non andrà interamente perduto per essi, se sarò riuscito, come spero, ad introdurvi qualche articolo a portata d'ogni classe di persone.

La formazione delle mie scale cromatiche esige un tempo non indifferente per un fisico, ed una mano lungamente esercitata in questo genere di lavoro. Tali scale riusciranno, io credo, d'un'utilità generale, e mi duole che non siano di più facile

costruzione per diffondersi con quella rapidità che desidererei. Ho tentato e tento ancora di farle imitare ad olio ed acquerello; ma dalle prove fatte sin quì ho motivo di temere che le copie meglio eseguite non arrivino mai a dare un' idea giusta dei colori originali. Queste tinte disposte nell' ordine della scala producono un effetto che non si può descrivere: esso è della medesima natura di quello che produce sull' orecchio una scala di semitoni eseguita da un organo di voce privilegiato. Tutti provano un sommo piacere alla vista di que' colori che passano gradatamente da un tono all' altro, e dove l' armonia che ne risulta, è tale che l' occhio deviato da essi vi ritorna sopra, tratto dal desiderio di goderne nuovamente la vista. Non ingrandisco l' effetto: intendo di riferire un fatto genuino, sul quale potrei insistere maggiormente senza timore di cadere in veruna sorte d' esagerazione: tanta è, mi si permetta la frase, la voluttà che regna nella scala di quelle lamine colorate.

SCALA CROMATICA

Questa scala è composta di 44 tinte, ciascuna delle quali è applicata ad una lastra d' acciajo particolare. La figura annessa rappresenta le 44 lastre, disposte sulla stessa linea l' una immediatamente al di sopra dell' altra (1). Ciascun numero porta il nome della tinta che vi è sopra. Queste tinte sono disposte secondo l' ordine dei veli, o lamine sottili, da cui derivano. Il colore del velo più sottile è il 1.°; indi vengono di mano in mano i colori prodotti dai veli più grossi (2). Io non posso ingannarmi in questa disposizione; perchè i veli o lamine sottili da cui nascono i varj colori, sono tutte applicate collo stesso processo elettro-chimico. La pila, la soluzione, le distanze, ec. ec. si conservano le medesime; non varia che il tempo dell' azione, il quale è brevissimo per il colore della lastra N.° 1, un po' più lungo per la seconda, e così via via sempre maggiore pe' numeri successivi. Non mancano inoltre altri criterj per verificare il posto che conviene a ciascuna tinta.

Questi colori sono prodotti da veli o lamine sottili; e lamine

(1) Questa figura è in un foglio a parte alla fine della memoria.

(2) I piccioli numeri fra parentesi si riferiscono alla grossezza delle lamine sottili, che producono i varj colori. Questi numeri sono presi dalla Tavola di Newton, trascurate le frazioni; e sono quelli che appartengono alle lamine sottili d'acqua. L' unità di misura è un millionesimo del pollice inglese. La nostra scala comincierebbe dunque da un velo eguale in grossezza a *quattro* di quelle unità, e terminerebbe con un altro eguale a *trenta* delle stesse unità, posto che la refrazione de' nostri veli elettro-chimici fosse la medesima di quella dell'acqua. Sarà probabilmente minore: ad ogni modo giova d'avere sott' occhio quei numeri per conoscere, se non la grossezza assoluta, la *relativa* almeno delle lamine sottili applicate effettivamente alle lastre d'acciaio

sottili sono pur quelle da cui nascono i colori delle bolle di sapone, e degli anelli osservati da Newton intorno al punto di contatto di due vetri o lenti leggiermente convesse. L'ordine di questi colori dovrebbe combinare esattamente con quello della mia scala: combina difatti, ma per accorgersi di questa corrispondenza bisogna innanzi tutto rettificare alcuni equivoci, a cui hanno dato luogo gli anelli di Newton, sia per la soverchia loro ristrettezza, sia fors'anche per essere stati esaminati con qualche prevenzione.

La nostra scala comprende l'estensione dei primi quattro anelli (1). Essa è composta, come abbiam detto, di 44 tinte.

Le tinte	dal N.°	1	al N.°	10	corrispondono al	I	Anello
	dal	11	«	28	«	II	
	dal	29	«	38	«	III	
	dal	39	«	44	«	IV	

Principio fondamentale.

Si sa come si formano i colori delle lamine sottili d'intorno al punto di contatto dei vetri di Newton. In questo punto che lascia passare tutti i raggi della luce incidente, comparisce una *macchia oscura*, la quale si conserva tale sotto ogni specie di luce. Se la luce incidente è bianca, alla macchia centrale succedono varie iridi od anella concentriche; se omogenea, formata cioè di una sola sorta di raggi, le iridi si convertono in anelli che sono del colore de' raggi incidenti, e separati l'uno dall'altro da intervalli oscuri. Questi anelli, di qualunque colore si sieno, cominciano tutti allo stesso luogo, vale a dire sull'orlo della macchia centrale: occupano però degli spazj differenti. Gli anelli violetti sono i più stretti, ed i più vicini; i rossi sono i più larghi ed i più lontani. Gli anelli de' colori intermedj hanno larghezze ed intervalli intermedj. Nel caso della luce bianca si formano contemporaneamente tutte le serie degli anelli omogenei: queste si sovrappongono l'una all'altra; niun colore resta isolato; si combinano in diverse proporzioni, e da queste combinazioni nascono per appunto le tinte delle lamine sottili che noi andiamo ad analizzare sulla nostra scala.

I.° Anello.

Dal N.° 1 al 10.

La nostra scala comincia dai *biondi*: ve ne sono quattro gradazioni: il primo è *argentino*; gli altri 2, 3, 4 gradatamente

(1) Si vedrà più innanzi il motivo per cui non l'abbiamo estesa più oltre.

più carichi. Ai biondi succedono i *fulvi* (1): ve ne ha tre numeri 5, 6, 7. Ho distinto quest' ultimo col nome di *rosso di rame* per l' analogia che ha con questo calore metallico. Il num. 8 è un' *ocria*; il 9 un' *ocria violacea*; ed il 10 un *rosso di fuoco violaceo*.

Secondo Newton il I.° Anello sarebbe composto come segue:

Blu
Bianco
Giallo
Rancio
Rosso.

Io non vi trovo il *blu*; nè le tinte che vengono dopo il *bianco* qualificate per *gialle* e *rancie* mi sembrano tali da potersi definire esattamente sull' anello di Newton. Hanno tutt'altro spirito che quello del giallo e del rancio; e non sono in sostanza che la serie dei *biondi* e *fulvi* della nostra scala confusi insieme; come provo direttamente restringendo quelle sette tinte in uno spazio così angusto come quello che occupano dentro ai vetri di Newton. Comparisce in allora quell' identica sfumatura giallo-rancia, che succede al bianco del I.° Anello (2).

I biondi e fulvi della scala sono tinte compostissime: hanno un certo *fuoco* dipendente dal rosso che contengono; si assomigliano un poco ai colori dell' oro e del rame, e sono difficilissime ad imitarsi in grazia appunto della loro composizione, che le allontana più delle altre dallo spirito de' colori prismatici. In natura si riscontrano specialmente:

1. Nei peli degli animali.
2. Nelle penne di molti volatili.
3. Nelle fibre o vene de' legni secchi, come noce, pero, pomo ec.
4. Nella buccia de' grani, come frumento, orzo, segala, ec. ec.
5. Nel fumo che si svolge dall' estremità della fiamma.
6. Nelle decozioni de' grani abbrustoliti, come orzo, caffè ec.
7. In quella *corona* che si osserva sovente d' intorno alla luna quando è annebbiata, o coperta da nuvole leggiere.

I colori di cui si vestono le nubi sono in generale:
Nero, o cenerino molto scuro.

(1) Dal latino *fulvus*, per non ricorrere alla perifrasi *color di lione*, che sarebbe l' idea corrispondente.

(2) La mancanza del blu non porta pregiudizio alla dottrina delle lamine sottili: mi sembra anzi che ne sia una conseguenza necessaria. Tutti gli anelli omogenei incominciano allo stesso luogo, dove cioè finisce la macchia centrale. In questo sito la lamina sottile riflette da' raggi d' ogni sorte, e ne risulta il *bianco* senza alcuna traccia di *blu*. Questo bianco succede immediatamente al nero della macchia centrale: sarà forse il contrasto di quel *bianco* col *nero* che avrà fatto illusione nel luogo dove s' uniscono le due contrarie apparenze.

Bianco, o cenerino molto chiaro.
Color di fumo e di caffè.
Rossi più o meno infuocati.
Turchino molto cupo, che tende talvolta al violaceo.

Questa è precisamente la serie delle tinte del I.° Ordine, compresevi le due prime del II.°

Le tinte di *fumo* risultano dalla fusione più o meno completa dei biondi e fulvi; quella di *fuoco* dai Num. 8, 9 e 10: il *turchino cupo* dalla mescolanza dei Num. 10, 11 e 12, che sono le tinte più scure della scala.

Il primo biondo è proprio il colore dei capelli dei bambini. È degno di rimarco come questo colore si rinforzi coll'età appunto come indica la scala, passando successivamente ai Numeri 2, 3, 4.

Merita parimente osservazione la perfetta somiglianza che esiste fra le prime tinte della scala e quelle che si osservano d'intorno alla luna offuscata da nebbia o da nuvole.

Quest'osservazione combinata coll'altra, che le tinte presentate dalle nuvole negl'infiniti loro aspetti sono quasi tutte comprese in quelle del I.° Anello, ci conduce ad un'altra conseguenza relativa alla costituzione de' vapori vescicolari. Si sa dalle esperienze e misure di Newton, quali sono le grossezze delle lamine d'*aria*, d'*acqua* e di *vetro* che producono le tinte dei varj anelli. Il rosso Num. 10 è l'ultima tinta di quest'anello. L'indaco Num. 12 appartiene al II.°, e la lamina d'acqua che lo riflette, ha di grossezza quasi 10 millionesimi del pollice inglese. Sapendo dunque da un lato che i vapori vescicolari sono formati d'acqua, e dall'altro ch'essi non riflettono e trasmettono altre tinte della scala al di là del Num. 12, concluderemo che le pareti di questi palloncini o vescichette non oltrepassano in alcun caso la grossezza di $\frac{10}{1000000}$ del pollice inglese. Questo risultato mi sembra abbastanza positivo per meritare d'esser registrato nella scienza.

II.° Anello

Dal Numero 11 *al* 28.

Quest'intervallo comincia al violetto N.° 11 e si estende sino al rosso di lacca N.° 28. Esso comprende la più bella di tutte le gradazioni:

Blu;
Celesti;
Gialli;
Ranci;
Rossi.

Newton pone una tinta verde fra il blu ed il giallo. La mia scala non presenta alcuna traccia di verde; nè per quanto io m' abbia esaminato il II.° Anello di Newton mi è mai riescito di riscontrare, nel posto del verde, altro che un *bianco ombrato di celeste*, il qual corrisponde ai N.ri 15, 16, 17 della mia scala. di bensì vero, che nello spettro solare si passa dal blu al giallo col mezzo del verde, ma i colori del prisma sono semplici; quelli delle lamine sottili sono composti, e l'ordine con cui si succedono, non combina che molto imperfettamente con quello dell' iride prismatica (1).

La mia scala è sviluppata in guisa che non dà luogo ad alcuna sorta d'illusioni. L'intervallo del II.° Anello è privo totalmente di verde. Questa tinta manca egualmente nel I.° Anello. Di qui la massima generale che fra le lamine sottili dei due primi ordini non ne esiste alcuna capace di riflettere un po' di verde. Il risultato è singolare: noi lo notiamo per tempo coll'idea che abbia a servirci in varie circostanze.

Parlando delle tinte del I.° Anello abbiamo detto ch' esse si allontanavano più di tutte le altre dallo spirito dei colori prismatici. Le tinte del II.° Anello sono al contrario quelle che vi si avvicinano di più; conservano però sempre delle differenze abbastanza sensibili per non essere confuse coi loro semplici del prisma. Hanno in natura un tipo che ci sta sempre dinanzi agli occhi, il *Cielo*. Chi non conosce l'*Aurora*, la quale sorge

Colla fronte di rose e coi piè d'oro,

e che si perde insensibilmente nell'azzurro della volta celeste? Partiamo dal N.° 12 della scala; percorriamola coll'occhio fino al N.° 28, e ravviseremo in questa serie le tinte del cielo, disposte per appunto come si presentano nell'imponente spettacolo dell'alba nascente. Questa successione l'abbiamo già avvertito, è la più graziosa di tutte. Il secondo anello di Newton non ne dà alcuna idea, perchè i colori non vi sono, nè vi possono essere sviluppati in quel modo che l'effetto richiede. I pittori consulteranno, io credo, con vantaggio questa parte della scala: vi ravviseranno l'immagine fedele delle più belle tinte dell'aurora, e sapranno trarne partito nelle loro composizioni. I fisici non mancheranno poi di fare un'osservazione, ed è che fra le tinte del cielo non si trova mai un'ombra di verde: mancanza

(1) Il prof. Amici si è compiaciuto, ad istanza mia, di esaminare gli anelli colorati con tutti i mezzi che ha a sua disposizione. Il suo modo di vedere combina esattamente col mio, non avendo egli riscontrato nel I.° anello il *blu* nè il *verde* nel II.°. La testimonianza del mio illustre amico e collega era di troppo valore, perchè io non avessi a riferirla in questa circostanza. Un altro fisico, il Sig. Fusinieri, aveva, anche prima di noi, indicate le medesime differenze (*Giornale di Fisica*. Pavia 1819 pag. 145 e 139).

che poteva prima imbarazzare non poco, ma che ora si spiega assai bene, riflettendo che le tinte del cielo appartengono al II.° ordine dove non esiste alcuna traccia di quella tinta. Si passa qui dal *blu* al *giallo* per via di velature chiarissime *giallo-celesti*, come si osserva in natura.

Le tinte che derivano dai vapori e dalle nuvole, appartengono al I.° ordine: hanno in generale più *fuoco* delle tinte genuine del cielo; ma questa qualità non è da porsi in confronto colla chiarezza, varietà e vivacità che posseggono le tinte del II.° ordine. Il momento dell'apparire del sole non è mai così magnifico, come quando l'aria è perfettamente pura. Sulla sera le basse regioni dell'atmosfera trovansi sempre più o meno ingombrate di vapori; l'aria non è più così trasparente come la mattina, ed il tramonto dell'astro del giorno è accompagnato da una *tinta di fuoco* che diminuisce di molto la bellezza dello spettacolo. Sono i vapori che danno al cielo quell'apparenza *infuocata* per la proprietà di cui godono di trasmettere le tinte del I.° Anello che hanno per appunto quel carattere. Senza di una tale circostanza la scena del tramonto non avrebbe da invidiar nulla allo spettacolo dell'alba.

I fisici avevano già fissate le loro idee intorno ai colori del cielo. Gli spiegavano difatti accordando all'aria la proprietà di riflettere i colori alti dello spettro, violetto, indaco, ec. ec., e di trasmettere i bassi, rosso, rancio, ec. ec. (1). La spiegazione era giusta, ma non completa. Restava da fissare la qualità precisa delle tinte indicando l'ordine a cui appartenevano. Rimanevano inoltre da terminarsi gli accidenti di luce dovuti alla presenza dei vapori. Le considerazioni che abbiamo esposte, serviranno, io credo, a riempiere l'una egualmente che l'altra lacuna.

III.° e IV.° Anello.

Dal N.° 29 al 38, e dal N.° 39 al 44.

Questi due anelli comprendono le tinte *più ricche*, si perdoni la frase, *di colore*. Il I.° Anello si distingue per il *fuoco* l'*apparenza metallica* delle sue tinte; il II.° per la *chiarezza* e *vivacità*; il III.° e IV.° per la *forza*, e pei *verdi* che mancano nei due primi ordini. Il primo verde comparisce nel III. ordine al N.° 32: si rinnova poi nel IV.° ordine al N.° 41. Sono amendue verdi bellissimi, poco differenti l'uno dall'altro, e molto conformi al verde dello smeraldo. Le tinte del III.° anello non si distinguono gran fatto da quelle del IV.°; la differenza più sensibile consiste nella chiarezza che cala dal III.° al IV.° ordine.

(1) *Venturi*. Indagine fisica sui colori cap. III.° pag. 52. Modena 1801.

I colori di questi due intervalli abbondano in tutti i tre regni della natura. Il regno vegetabile sembra però quello che li possiede in maggior copia. I colori dominanti in queste due ultime parti della scala sono i rossi, i verdi, ed i verde-gialli: non vi ha propriamente alcuna sorta di *blu*. Questa mancanza va contrapposta all' altra del *verde* che non si trova nei due primi anelli. Il *blu* può, in tal qual modo, dirsi riservato alla *volta del cielo*, il *verde* alla *superficie della terra*. Sono queste le due tinte dominanti, ma separate nel loro dominio. La separazione mi sembra tutt' altro che accidentale: bisognava, mi pare, di necessità comporre l' atmosfera di particelle le più sottili perchè avessero da sostenersi in quel luogo: la terra non esigeva un' architettura così delicata. Di quì due ordini ben distinti di particelle o lamine sottili; le *terrestri* più grossolane capaci di riflettere le tinte verdi, e le *aeree* più sottili capaci di riflettere gli azzurri.

Legge dei colori cangianti.

Newton osservò già che i colori de' suoi anelli cangiavano di posto, variando l'incidenza secondo cui si guardavano. In tali anelli quel colore che guardato quasi perpendicolarmente comparisce sopra un dato cerchio, si dilata e viene ad occupare un cerchio più grande quando si osserva obliquamente. Questi cangiamenti sono molto più sensibili sugli anelli esteriori che sui primi che circondano la macchia centrale. Un' obliquità, per esempio, di 40.° basta a far cangiare di tono una tinta del IV. Ordine, mentre una del I.° o del II.° non muta per niente o per ben poco sotto lo stesso angolo d' incidenza.

È anche da avvertirsi l' effetto della refrazione che è di rendere tanto più lenti i passaggi da una tinta all' altra quanto più densa è la sostanza della lamina sottile. Questa legge rientra nella prima, perchè gli anelli delle lamine più dense sono interni rispetto ai corrispondenti delle lamine meno dense; e gli anelli esteriori sono per appunto sempre i più cangianti.

I colori della nostra scala derivano da lamine sottili, e non seguono leggi diverse da quelle degli anelli di Newton. È però da avvertirsi un' anomalia che si manifesta nelle grandi incidenze in grazia del fondo metallico delle nostre lamine, il quale per la sua *forza polarizzante* produce degli effetti che sembrano analoghi a quelli osservati da Arago sugli anelli di Newton formati fra uno specchio metallico ed una lente leggermente convessa (1). Esamineremo altrove quest' accidente, limitandoci a registrare in questo luogo i risultati della semplice osservazione, che sono i seguenti.

(1) *Mémoires de Physique et de Chimie de la Societé d' Arcueil. Tom. III pag.* 323.

Le tinte superiori, dal rosso N.° 44 al giallo N.° 21 cangiano secondo la legge ordinaria. Difatti inclinando l' occhio su quelle tinte, veggiamo il N.° 44 convertirsi nel 43, il 43 nel 42, e così via via ogni numero superiore nel suo inferiore. Questa legge sussiste sino al giallo N.° 21: da questo in poi la cosa procede altrimenti. I bei gialli 20 e 19 divengono verde-azzurri; i gialli più chiari 18 e 17 cangiano in rosso; i celesti 16 e 15 divengono giallognoli. I blu 13 e 14 non sono cangianti; e quì finisce l' anomalia tornando dal N.° 12 al N.° 1 a verificarsi la legge di prima.

Avvertenze alla legge de' colori cangianti.

Se i corpi fossero composti di lamine sottili, come son quelle della scala cromatica, i loro colori non si manterrebbero gli stessi sotto le varie incidenze, ma cangierebbero tutti conformemente alla legge sviluppata poc' anzi. In natura i colori cangianti sono invece ben pochi in confronto di quelli che non cangiano: il che vorrà dire o che i corpi si colorano in generale con un principio differente da quello delle lamine sottili, oppure che questo principio va modificato nella sua applicazione, per non essere i corpi costituiti precisamente come esige lo stesso principio. Poche osservazioni basteranno forse a fissare le nostre idee su quest' articolo, che interessa tanto la dottrina generale dei colori.

Colori cangianti della natura.

Abbiamo in ciascuno dei tre regni degli esempii di questi colori. Il regno animale ci presenta però, e per numero e per bellezza, i campioni più interessanti, come sono le ali delle farfalle, le squame di certi insetti, e soprattutto le penne di molti volatili. Chi non conosce, per esempio, i colori delle penne del pavone, le quali cangiano così vagamente d' aspetto a qualunque punto di vista? In questo caso egualmente che negli altri dello stesso genere il colore che si osserva, non risulta già da una superficie continua come è quella d' una lamina sottile: risulta da una moltitudine di fili o peli addossati così bene gli uni agli altri da formare poco meno che un piano perfetto, ma che in sostanza è composto d' un' infinità di lati o faccie, di cui bisognerebbe conoscere precisamente la posizione, e profondità per potervi applicare con successo la legge ordinaria. Il fenomeno si presenta con tutti i caratteri delle lamine sottili; ma non si tratta più d' una sola di queste lamine; si tratta d' un' infinità, disposte sì nell' ordine il più ammirabile, ma che complicano il giuoco di luce in modo da non seguirla così facilmente in tutti suoi accidenti.

Il colore cangiante che si riscontra più spesso nelle ale, è un bel verde della forza del Num. 32. Il verde di questo numero conserva quasi tutto il suo tono sino ai 40.° d'inclinazione; verso il 50.° presenta l'aspetto num. 31 che è una porpora velata di verde; verso il 70.° non gli rimane più alcuna traccia del primitivo colore, essendo totalmente cangiato nella lacca violacea num. 30.

Il verde cangiante delle penne comincia la sua metamorfosi molto prima: verso i 40.° d'obliquità è già tramutato tutto in una tinta violacea del valore del Num. 11. I passaggi intermedii non si distinguono: prova non dubbia che le faccie dei peli, le quali davano il verde nell'incidenza perpendicolare non sono più le medesime che producono l'effetto nell'incidenza obliqua. Il salto dal num. 32 al num. 11 è troppo rapido per non giustificare questa conseguenza.

Ad ogni modo gli accidenti dei colori cangianti della natura meritano uno studio particolare. Io m'occupo attualmente d'una raccolta di siffatti colori, la quale parmi che possa interessare la scienza sotto altri rapporti oltre quello dell'ottica. Invito i fisici ed i naturalisti a prendere in considerazione questo mio pensiero, ed a soccorrermi coi loro mezzi per mandarlo a compimento.

Colori non cangianti.

Abbiamo in natura una moltitudine di tinte che corrispondono a quelle della scala; ma queste ultime sono cangianti e notabilmente cangianti, mentre le naturali nol sono che ne' casi particolari del paragrafo precedente. Fissiamo per un momento le idee sul verde, che è uno de' colori più diffusi: ogni erba, ogni foglia è più o meno di questo colore. I verdi della scala, di qualunque ordine si sieno, divengono rossi nelle incidenze oblique: i verdi delle erbe e delle foglie non danno alcun segno d'una tale metamorfosi.

Noi già sappiamo che i cangiamenti di tono a cui vanno soggette le tinte delle lamine sottili, diminuiscono a misura che cresce la densità delle stesse lamine. Se la sostanza onde si compongono le erbe e le foglie, fosse molto più densa di quella dell'acqua, potrebbe dirsi in allora che quelle erbe e quelle foglie mantengono, sotto qualunque incidenza, lo stesso colore in grazia dell'eccessiva loro densità. Ma la densità in discorso è tutt'altro che forte: non arriva forse a quella dell'acqua, ed il principio va giustificato in una maniera affatto differente. Parmi che si debba giustificare così.

Allorchè si applica il principio delle lamine sottili alla colorazione dei corpi viensi a supporre che questi corpi sieno composti di lamine analoghe a quelle di aria o di acqua che s'in-

troducono tra i vetri di Newton. I corpi sono senza dubbio formati di particelle, o di gruppi di particelle molto sottili; ma tali particelle, o gruppi elementari hanno essi la forma di lamine? Non pare; sembra anzi che abbiano delle forme raccolte, come risulta dai principii della cristallografia, la quale le riduce a cubi, ottaedri, tetraedri, ec. ec.. La differenza è grande, e merita un esame severo.

Prendiamo per esempio una delle forme più semplici, la cubica. Sia nel quadrato *a b c d* (fig. 25) la sezione d'uno di questi cubi fatta nel piano della riflessione della luce, e sia *a b* il lato o la faccia su cui cadono i raggi della luce incidente. Partendo dall'incidenza perpendicolare *om* per passare alle incidenze oblique *p m*, *q m* egli è evidente, astrazion fatta dall'effetto della refrazione, che l'ultimo raggio soggetto al *giuoco delle interferenze*, sarebbe il *p m* che passa per lo spigolo *a*; colpisce la faccia inferiore *c d* nel punto di mezzo *m*, ed arriva all'occhio in o' per la via del raggio riflesso *mo'*. Qualunque altro raggio più obliquo *qm* cade fuori della faccia *a b*; va a colpire la faccia verticale *a c*, e non ha nulla che fare colla colorazione dovuta alla distanza delle due faccie *a b*, *c d*. Perchè vi entrasse bisognerebbe che la faccia *a b* arrivasse per lo meno in *a'* dal lato della luce incidente, ed in *b'* dal lato della riflessione. Non arrivando che in *a* ed in *b* il suo *campo di colorazione* resta necessariamente circoscritto dentro i limiti *m p*, *m* o'. Ora l'angolo o *m p*, il cui seno è uguale a $\sqrt{\frac{1}{5}}$, non arriva a 27.°: apertura soverchiamente piccola, perchè abbia a manifestarsi dentro di essa un cangiamento qualunque di tinta.

Che se la refrazione, da cui si era prescinduto, tende, com'è chiaro, ad allargare il *campo della colorazione*, tende ancora più a diminuire l'effetto del cangiamento delle tinte; onde può tenersi per certo che le particelle integranti dei corpi non possono, generalmente parlando, prestarsi al giuoco de' colori cangianti, a meno di non accordar loro delle larghezze eccessive, smentite dal complesso di altre osservazioni.

Dopo questa riflessione non resta, mi pare, che un solo punto da chiarire. Posto infatti che il campo di colorazione delle molecole integranti sia ristretto dentro angusti limiti, ond'è, si chiederà, che i corpi appariscono colorati egualmente per tutti i versi? In generale le molecole hanno dentro de' corpi ogni sorta di posizioni; e vanno per ciò, rispetto all'occhio, divise in due gran classi, in quelle che hanno le faccie rivolte verso l'osservatore, e nelle altre che vi hanno rivolto gli spigoli. Le prime colorano il corpo; le ultime poi che in una data posizione della massa non contribuivano alla colorazione, vi concorrono in un'altra. L'occhio in somma è sempre dentro il campo di colorazione d'un immenso numero di particelle; al campo che sparisce del-

l'una, subentra il campo dell'altra, e così il sistema resta sempre colorato a un modo. Le disposizioni simmetriche fanno eccezione: noi le abbiamo già considerate nel paragrafo precedente.

Colori metallici.

I pittori non conoscono che tre colori primitivi, rosso, giallo, e blu: egli è con questi che formano tutte le altre tinte mescolandoli in varie proporzioni col *bianco* e col *nero*. La natura ha nei soli colori delle lamine sottili una ricchezza molto maggiore. Portiamo per riflessione il colore d'una delle nostre lamine sul colore d'un'altra: l'un colore si mescola all'altro, e l'occhio riceve l'impressione d'una nuova tinta. Le combinazioni che si possono fare in tal modo, sono innumerevoli; nè ci vuol meno, si dirà, d'una tanta varietà di colori per trovarsi in corrispondenza con quelli che la natura ci presenta ne' suoi tre regni.

Noi siamo dello stesso avviso, ma senza dissimulare una difficoltà, ed è che molti colori, fra cui quelli delle sostanze metalliche, assomigliano ben poco a quelli delle lamine sottili. Dove per esempio trovare il giallo dell'oro, ed il rosso del rame? I colori che vi si avvicinano di più si trovano nelle prime sette od otto tinte della scala dove l'oro può prendere un tal qual posto fra i biondi, ed il rame fra i fulvi: ad onta di ciò la differenza è troppo notabile per non cercare di rendersene un esatto conto prima di riposare tranquilli sul solo principio delle lamine sottili.

Questo principio esige per sua prima condizione che le molecole de'corpi sieno trasparenti. Egli è vero che quasi tutti i corpi ridotti a un certo grado d'attenuamento lasciano passare attraverso di sè la luce; ma vero è parimente che l'esistenza d'un solo corpo perfettamente opaco e a un tempo stesso colorato, basterebbe da sè solo per reclamare un altro principio di colorazione, oltre l'ordinario di Newton applicabile soltanto alle sostanze diafane.

Nelle mie memorie sulle apparenze elettro-chimiche, ho dimostrato che tali apparenze non appartengono esclusivamente all'uno dei poli della pila. Le apparenze che servono a formare la scala cromatica, nascono dagli elementi elettro-negativi (ossigeno ed acidi) della soluzione, trasportati dalla corrente al polo positivo, dove si distendono in veli così sottili e trasparenti da produrre tutte le tinte di quella scala. La corrente trasporta invece gli elementi elettro-positivi (idrogeno e basi metalliche) al polo negativo, e ve li fissa in veli che non producono mai i colori delle lamine sottili. Non si può prendere equivoco in nessun caso, ma specialmente poi nelle soluzioni di certi sali a basi d'oro o di rame, i quali danno delle apparenze negative del solo

colore del metallo ripristinato. Quì non si può dire che la materia non è ancora ridotta al grado di attenuamento necessario per divenire trasparente. I veli elettro-chimici cominciano, al polo positivo come al negativo, dal primo grado di sottigliezza; e se i veli del polo positivo producono i colori ordinari delle lamine sottili, mentre questi colori non si riscontrano all' altro polo, dove l' apparenza può ridursi al solo colore delle basi metalliche, ciò vorrà dire o che queste basi sono perfettamente opache, o per lo meno poi così poco trasparenti, da non applicarvi le leggi generali che sotto le più grandi riserve. Resta infatti dimostrato che i colori dipendenti da sottigliezza di lamine non si verificano sopra ogni classe di corpi: non vi sono che le sostanze dotate d' un certo grado di trasparenza che li possano produrre; le sostanze metalliche sono troppo opache per un tale effetto. È questo un fatto positivo che va registrato nella scienza indipendentemente da qualunque vista sistematica.

Oro e rame.

Non si può dubitare, dice Newton, che i colori dell' oro e del rame non sieno del II.° o III.° ordine (1). A noi sembra invece che non si possano riferire che al I.° ordine, il solo che contenga delle tinte di apparenza metallica. Ricordiamoci che i primi colori della scala sono del tutto indistinti nel I.° anello di Newton, e sorprenderà meno la necessità di rettificare la classificazione di quel grand' uomo. Del resto, come abbiamo già avvertito, la corrispondenza di cui si tratta, è ben lontana dall' esser perfetta. Le tinte che si accostano più al giallo dell' oro sono i biondi Num. 2 o 3, ma questi biondi sono, senza equivoco, molto meno gialli dell' oro, e tinte più composte. Contengono di certo una dose di verde che manca nel colore più aperto dell' oro.

Le foglie d' oro guardate per trasparenza compariscono verdi. Questo fatto è stato da molti registrato a dirittura nella classe delle lamine sottili per la proprietà di cui godono queste lamine di riflettere un dato colore in quello stesso luogo dove lasciano passare il suo complementario. « Eppure, lo dirò colle parole « d' un gran fisico, negli anelli di Newton non si trova alcun « giallo che abbia per suo complemento il verde. Il colore tra« smesso è sempre un blu, e questo risultato è conforme alla « costruzione che Newton ha dato per la composizione dei colori. « Ma da questo blu necessariamente composto levate un certo « numero di raggi violetti e blu che l' oro assorbirà nella sua « sostanza, e vi resterà il verde (2) ».

(1) Optice lib. II Pars. III. Prop. V.
(2) *Biot*. Traite de Physique. Tom. IV pag. 127.

Che la luce nel passare attraverso le sostanze colorate venga in parte assorbita od estinta, è un fatto dimostrato da una moltitudine di osservazioni, il quale rende non solo plausibile la spiegazione del sig. Biot, ma ci autorizza di più a fare, dal lato della riflessione, una sottrazione analoga a quella che ha luogo dal lato della trasmissione. E difatti se dentro la sostanza dell'oro rimangono estinti alcuni de' raggi destinati ad essere trasmessi, come mai ne uscirebbero tutti gli altri destinati ad essere riflessi dall'interno della medesima sostanza? Se il fenomeno è incompleto dal lato della trasmissione, lo sarà egualmente dal lato della riflessione, dove si comporrà una tinta necessariamente diversa da quella delle ordinarie lamine sottili, trasparenti al segno da non troncare il cammino a veruna sorta di raggi.

Il biondo contiene, come abbiam detto, una dose di verde che non si trova nel bel giallo dell'oro: ebbene; si sopprima quel verde ritenendolo assorbito nella riflessione, e ne uscirà una tinta che si accosterà molto di più al giallo dell'oro se non arriverà ad eguagliarlo.

Il rosso del rame esige una riduzione dello stesso genere. Il più vicino corrispondente d'un tal rosso è il fulvo Num. 7. Ora questa tinta contiene una dose di violetto, che non esiste nel rosso del rame, e che soppressa dalla composizione renderà la somiglianza se non completa, almeno molto più perfetta.

Non è qui nostro disegno d'entrare più addentro nelle viscere della questione, e cercare il motivo, per cui i corpi colorati estinguono nel loro seno certe determinate specie di raggi più presto e più facilmente di certe altre. Il fatto è sicuro; nè occorre altro per il nostro fine, ch'era di scoprire, d'onde poteva derivare la grande differenza che esiste fra i colori metallici e quelli delle lamine sottili.

Colori che si sviluppano sui metalli coll' azione del fuoco, e loro opacità relativamente a quelli della Scala cromatica.

Tutti conoscono i colori d'iride che prende l'acciaio ed il rame sotto l'azione del calore. Lo stagno, il bismuto, il piombo, ec. ec presentano anch'essi de' colori analoghi all'atto della loro fusione.

L'opinione più generale che si avesse intorno a questi colori, era ch'essi dipendessero da un principio d'ossidazione (1). Ber-

(1) Alcuni pensano che il fenomeno derivi da semplici spostamenti di parti, escludendo così l'intervento di qualunque altra sostanza. Secondo quest'opinione, è lo stesso metallo che si divide in lamine sottili di diversa grossezza e tali perciò da riflettere i vari colori. Quest'idea ha contro di sè un fatto positivo, quello dell'articolo precedente relativo all'opacità dei metalli, la quale è, in ogni caso, tale da non somministrare lamine sottili abbastanza trasparenti per produrre i colori di cui si tratta.

zelius chiama *sub-ossido* lo strato metallico che si colora a quel modo. Fusinieri sembra poi aver dimostrato evidentemente che non si ottengono que' colori senza la presenza dell' ossigeno; il che giustifica la prima idea.

I colori delle mie lamine sono d' un' altra natura. Non è punto un ossido che le colora. Le lamine sieno esse di platino o di ferro rimangono egualmente intatte sotto l' operazione elettro-chimica che le colora. Nascono que' colori da veli sottili d' una materia, che sembra essere di natura vegetabile, e prodotta dagli elementi dell' acido acetico che si decompone esso medesimo sotto l' azione della pila. Questa sostanza è trasparente sì in lamine sottili, ma cessa d'esserlo ad una certa grossezza: così ingrossata diventa opaca; e si scalfisce facilmente coll' ugna. Il suo colore è prima rossiccio, indi nero, e nero bellissimo. In questi due ultimi stati è inattaccabile dagli acidi, e può benissimo servire da vernice al ferro ed all' acciajo per garantirli dalla ruggine.

La nostra scala non va oltre il 4.° anello di Newton. Se la sostanza che produce i veli sottili fosse stata più trasparente, io non mi sarei fermato a quel segno; ma il difetto di trasparenza è tale che le tinte superiori al 4.° grado divengono cupe, ed un poco anche diverse di tono dalle tinte corrispondenti degli anelli di Newton. Hanno inoltre un altro difetto, ed è che si alterano facilmente; mentre le altre si conservano assai bene custodite che sieno colle debite cure. È però da notarsi che se la mancanza di trasparenza delle nostre lamine sottili non ci permette d' estendere la scala cromatica oltre il rosso del quarto ordine, è questo un difetto che diventa prezioso per la dottrina de' colori permanenti de' corpi, come vedremo in altro luogo.

I colori che si sviluppano col fuoco sui metalli, procedono da lamine sottili che sono anche meno trasparenti delle mie. L' acciajo che è uno de' metalli che si colora al fuoco meglio degli altri, ha già le tinte del 2.° ordine offuscate e sporche in guisa da non arrivare al verde del 3.° ordine. E difatti è questa una tinta che non si vede mai sull' acciajo, comunque si riscaldi.

La natura ci offre nel ferro speculare un bell' esempio della colorazione di cui parliamo. Il colore ordinario di quella miniera di ferro è il grigio dell' acciajo. Le faccie però de' suoi cristalli presentano sovente delle bellissime tinte, e tra queste ve ne ha d' ogni specie: cominciano in generale dal blu Num. 13 del II.° ordine, e vanno sino ai rossi 37 e 38 del III.°. Questi colori sono cangianti come quelli delle lamine sottili, e protratti molto più oltre che i colori dati artificialmente all' acciajo col fuoco. Il ferro speculare sembra pur esso un prodotto col fuoco, ed i suoi colori un effetto per conseguenza della sua superficie

leggiermente ossidata. Pure vi ha molto che dire sulla natura chimica di quella specie di velatura;

1.° perchè mentre gli acidi attaccano il blu delle molle d'acciajo, non attaccano punto la stessa tinta nel ferro speculare;

2.° perchè la sostanza del blu dell'acciajo è molto più opaca di quelle che colora il ferro speculare;

3.° infine perchè le proprietà ottiche delle due velature sono molto differenti come si dichiarerà più apertamente in un altro articolo (1).

Proprietà singolare d'alcune tinte della scala.

Verso una goccia d'alcool sopra il violetto Num. 11, e ve la fo scorrere sopra in modo che ne copra una porzione. Questa parte inumidita non presenta più il violetto di prima: invece sua si vede una tinta appannata che si accosta al colore del caffè col latte. La porzione non bagnata conserva il proprio colore violaceo: il confronto è immediato, e la differenza delle due tinte così decisa da eccitare non poca sorpresa come uno strato d'alcool trasparentissimo e bianchissimo abbia da alterar tanto il colore violetto, su cui è applicato. L'alcool svapora a poco a poco, e si repristina il colore di prima.

L'acqua, l'olio, le soluzioni saline, ec. producono lo stesso effetto. La grossezza dello strato umido non influisce sul fenomeno: tanto sotto un semplice velo quanto sotto una massa di liquido, il violetto si altera allo stesso modo. I corpi solidi trasparenti, come vetri, cristalli, ec., collocati immediatamente sulla medesima tinta violacea non l'alterano punto nè poco. I liquidi bagnano la lamina e vi aderiscono: questa sembra essere la condizione essenziale del fenomeno.

Al disopra del violetto l'indaco N. 12 ed il blu N. 13, e al disotto il rosso N. 10 e le ocrie N. 9 e 8 vanno soggette a cangiamenti egualmente notabili. Ripetendo invece l'esperienza dello strato umido sopra tutte le altre tinte della scala, o non si osservano cangiamenti di sorta, o ben leggieri in confronto di quelli che hanno luogo sul gruppo delle tinte che circondano il violetto Num. 11.

L'acciajo colorato col fuoco, ed il ferro speculare presentano pur essi lo stesso gruppo di tinte. Son queste, come, si è già notato, tinte prodotte dal solito principio delle lamine sottili; eppure bagnate che sieno come le corrispondenti della nostra Scala, non cangiano sensibilmente di tono.

Valga quest'osservazione per giustificare sempre più il titolo di *singolare* posto in fronte a questo paragrafo.

(1) Vedi in fine l'*Appendice sulla polarizzazione de' colori.*

Effetto della luce di notte.

È sentenza proverbiale di guardarsi la sera dal giudicare dei colori. Ma quale è infine l' alterazione che soffrono i colori osservati a lume di notte? Ecco gli accidenti che ho osservato io medesimo sulle tinte della mia scala, per tacere le opinioni troppo diverse delle persone che ho consultato a questo riguardo.

1.° I verdi crescono di forza e di bellezza.
2.° I gialli e celesti s' oscurano, e si mortificano.
3.° I blu e l' indaco si fanno verdognoli.
4.° I violetti s' accostano alla natura degli azzurri.
5.° I rosso-violacei divengono più violetti.
6.° Le prime otto tinte della scala divengono più eguali, e s' accostano più allo spirito de' colori metallici.
7.° Le altre tinte si conservano pressochè le medesime.

Alcuni di questi accidenti si riproducono di giorno guardando le tinte della scala attraverso d' un cristallo verde, altri attraverso di vetri gialli ed azzurri. La luce artificiale è senza dubbio composta diversamente da quella del sole: essa scarseggia probabilmente in raggi rossi, ed abbonda in raggi gialli, verdi ed azzurri. Ma qual' è precisamente il diafragma colorato che dovrebbe collocarsi dinanzi alla luce del giorno per ridurla alle proporzioni di quella di notte? Il problema è interessante; ma resta ancora da risolvere.

Armonia de' colori.

La mia scala è giudicata da tutti armonica in un grado eminente. Dissi già il grazioso effetto ch' essa produce su quelli che la osservano. Ora aggiungerò che le persone dell' arte fanno le maraviglie per non trovare il verde al consueto suo posto fra le tinte gialle e le azzurre del II.° Ordine. Io soglio prendere in mano i due più bei verdi della scala, il Num. 32 ed il 41, e consegnarli agl' intelligenti perchè vi trovino un posto più conveniente di quello che hanno nella scala. Strascinati dall' abitudine, essi portano di primo slancio quelle tinte verdi in mezzo ai gialli e blu del II.° Ordine, poco meno che sicuri che questo abbia ad essere il luogo più armonico per esse. Il risultato non tarda a disingannarli: il verde disgusta in quel luogo; l' armonia è distrutta, nè si riproduce perfettamente che rimettendo i verdi al primitivo loro posto. Ma che cosa è infine quest' armonia? è un effetto che si è spiegato sinora rimontando alla legge de' colori immaginarj. Conviene in poche parole esporre il principio di tale dottrina.

Abbiasi una tinta qualunque esposta ad un *competente grado di luce*; si osservi *per qualche tempo* tenendo fisso lo sguardo

sopra di essa; si chiudano in seguito perfettamente le palpebre, ed il color vero dianzi osservato si tramuta in un altro che è sempre lo stesso per ogni tinta, ma differente nelle differenti tinte. Questi colori, figli in certo modo dei colori veri, sono quelli che alcuni fisici chiamano *immaginarj*: altri li dicono *fantastici* od *accidentali*. Ecco la tavola di questi colori.

Color vero.	*Immaginario corrispondente.*
Rosso	Verde-azzurro
Dorè	Indaco
Giallo-verde (1)	Violetto
Verde-azzurro	Rosso
Indaco	Dorè
Violetto	Giallo-verde.

Dopo l'esposizione di questa Tavola non saprei come meglio proseguire il presente articolo che col trascrivere il seguente squarcio del Venturi:

« *Piacevole ed armonica è la compagnia o successione di* « *que' colori, i quali sono corrispondenti fra loro in guisa che* « *la sensazione vera di uno di essi trae dopo di se la sensazio-* « *ne fantastica dell' altro.* » Le femmine di gusto san dire che « il colore della tale guarnitura fa buono o cattivo effetto colla « tinta fondamentale dell' abito. Leonardo da Vinci promise di « farci l' enumerazione de' colori armonici fra loro o disarmonici « in un quadro (2); ma poi nè esso adempì la promessa, nè « altro scrittore di pittura, ch' io sappia, dopo lui ha indicato « le precise regole generali dell' armonia de' colori. Fu solo no- « tato da molti che il rosso fa grato accordo col verde; Newton « avvertì che il rancio sta bene coll' indaco; ed ebbe forse un « eguale sentore Virgilio, allorquando la sua Najade

Mollia luteola pingit vaccinia caltha.

« Mengs dà lode alla combinazione del violetto col giallo. Que- « st' ultimo autore insegna inoltre che i tre colori rosso, giallo « ed azzurro non si confortano insieme (3); ma che ciascuno « di essi vuole piuttosto accompagnarsi coll' intermedio degli al- « tri due, vale a dire il rosso al verde, il giallo col violetto, e « l' azzurro col rancio.

« Queste particolari avvertenze hanno la loro ragione e fon- « damento nei cambiamenti dallo stato reale all' immaginario, i

(1) Nominando qui due colori insieme si vuole intendere la tinta pura intermedia ai due nominati.

(2) Della Pittura Cap. 89.

(3) *Mengs*. Lezioni di Pittura.

« quali abbiamo veduto succedere naturalmente al movimento « sensifero della retina. Talchè la regola generale dell'armonia « dell'occhio sia — *che sono armonici fra loro que' colori i quali « si corrispondono nella tavola riferita di sopra.*

« Difatti se l'organo della vista dopo aver guardato un co- « lor rancio, di sua propria natura e senza altro esteriore im- « pulso volge la sensazione del rancio in indaco e viceversa; « dunque se nel mondo esteriore un giacinto di color indaco si « pone vicino alla giunchiglia, nel portare l'asse ottico dall'uno « all'altro fiore, il centro della retina va per quella successione « di colori che la natura dell'organo senziente esige, e non può « venirne che grazia e piacere nell'animo: sono armonici fra « loro que' due colori, perchè l'uno è guida dell'altro. E per « la ragione del contrario, se l'occhio dovrà fare passaggio da « un colore ad un altro non corrispondentegli nella Tavola, esso « dovrà soffrire uno sforzo, un incomodo, perchè si troverà spinto « in uno stato non proporzionato alla sua disposizione prece- « dente. Se il clavicembalo oculare di Castel potesse aver luogo, « la modulazione dei colori dovrebbe in esso eseguirsi giusta la « regola stabilita pur ora « (1).

Io non negherò che la disposizione della retina a far nascere da un color reale un altro immaginario non entri per qualche cosa nell'effetto che producono i colori. Inclino anzi a credere che quella tendenza dell'organo dia ai colori *osservati attentamente* un *sentimento*, un' *espressione* che non avrebbero senza di essa; ma questa sarebbe, come vedremo in seguito, una specie di *melodia* e non armonia.

L'armonia, dico io, è un effetto momentaneo che più colori producono sul nostro animo indipendente affatto dallo sviluppo dei colori immaginarj. Per un tale sviluppo occorre che l'occhio siasi fermato per qualche tempo sopra d'un color vero; non basta: bisogna inoltre che questo color vero sia *competentemente illuminato*. Ora quand'ho sott'occhio due o più colori, io giudico della loro armonia senza aver bisogno nè di guardarli lungamente, nè che sieno molto illuminati; purchè li vegga un poco e per un solo momento, e il giudizio è già pronunziato, non diversamente di quel che mi accade, quando il mio orecchio sente un colpo d'armonia. Supponiamo per un momento che il suono avesse anch'esso i suoi suoni immaginarj, e che questi ultimi si determinassero quando l'orecchio fosse *per qualche tempo* colpito da una sola qualità di suono *competentemente rinforzata*. Prima di tutto questi suoni immaginarj non si farebbero sentire che nel caso ben particolare di note alcun tempo sostenute; ma posto anche ch'essi fossero in ogni caso indivisi-

(1) *Venturi*. Indagine fisica sui colori, coronata dalla Società Italiana. Modena 1801.

bili compagni del suono reale, non farebbero già armonia con questo; arriverebbero un momento dopo e produrrebbero *melodia* (1).

Un certo colore non istà bene vicino all'altro. L'occhio ne è offeso, come l'orecchio si offende d'una dissonanza. Or bene, si passi dall'uno all'altro colore col mezzo delle sue tinte intermedie, e questo sarà sicuramente un modo di convertire il primo disgusto in una piacevole sensazione. La nostra scala, lo torno a ripetere, produce la stessa grata impressione su tutti; nè a determinare quest'effetto concorre altro se non che la bellezza inarrivabile de'colori, ed il modo con cui si fondono gli uni negli altri.

Secondo la legge dei colori immaginarii il rosso s'accorda bene col verde. Nella nostra scala le lacche, che sono i più bei rossi della natura, stanno fra le tinte verdi e le rancie, e si combinano bene colle une e colle altre Secondo quella medesima legge il violetto non dovrebbe accordarsi che col giallo: nella nostra scala le tinte violacee sono fra gli azzurri e le ocrie, e vi stanno benissimo. La stessa legge condanna l'unione del giallo coll'azzurro, e la nostra scala dimostra che l'azzurro si unisce piacevolmente al giallo, purchè abbiano l'uno e l'altro un certo tono, ed un certo grado di chiarezza. Non occorre, io credo, moltiplicare gli esempii. *Bellezza di tinte e passaggi graduati:* quì sta uno dei primi segreti dell'arte, messo in piena evidenza dall'effetto della scala cromatica. Ma non è sempre permesso di ricorrere alla graduazione dei passaggi, e l'artista ha bisogno d'un'altra guida per sapersi condurre in tutte le circostanze. Non ne dubito punto: come per l'orecchio l'ottava, la quinta e la terza sono le consonanze più perfette, così vi saranno per l'occhio degli *accordi di colori* più piacevoli di certi altri. Ma questi accordi restano da fissare: il campo è ancora intatto; nè la ricerca potrà forse istituirsi meglio che sulla nostra scala, la quale presenta le tinte in tutta la loro possibile purità, e già disposte in modo da figurare il *cembalo dei colori*. Sarà questo un nuovo titolo per raccomandare la scala allo studio dei fisici egualmente che degli artisti.

Riflessioni finali sulle qualità fisiche e pittoriche dei colori.

Non si parla ordinariamente in fisica che della *chiarezza;* ma i colori oltre d'esser più o meno chiari, sono più o meno forti, più o meno vaghi, più o meno allegri, ec. ec. Queste espressioni sono da gran tempo in uso, ed i pittori le hanno continuamente sulle labbra: crederei che fosse ormai tem-

(1) Vedi l'ultimo Articolo.

po che prendessero posto nella scienza, purgate e ridotte a quel giusto valore che non hanno forse ancora nel linguaggio comune.

Chiarezza.

Tutti quelli che osservano i sette colori dello spettro, s'accorgono subito della grande differenza che esiste fra loro sul punto della chiarezza. Il colore più chiaro è il giallo. Fraunhofer che ha analizzato così minutamente lo spettro, colloca anch'egli il punto della massima chiarezza sul giallo.

Le tinte della nostra scala egualmente che quelle della natura, non sono pure: sono tutte composte di più colori, per cui ne risulta una legge di chiarezza differente da quella dei colori prismatici.

Le tinte più chiare della scala sono;

1.° I celesti 16, 17
2.° I biondi 1, 2
3.° I gialli 18 e 19.

Le tinte più scure sono le tre successive 10, 11 e 12 dove domina il violetto e il blu.

Forza.

Forza e *chiarezza* sono due qualità ben diverse. Niuno infatti confonde la forza d'un bel rosso colla chiarezza d'un bel giallo. Nella scala della chiarezza il *bianco* occupa il primo posto. Una tinta chiara può quindi considerarsi come il prodotto di poco colore e molta luce bianca; e viceversa una tinta forte il prodotto di molto colore e poca luce bianca. I pittori infatti non chiariscono i colori altrimenti che col bianco; nè li rinforzano che coll'aggiunta di altro colore.

I colori più forti della scala sono le lacche, e specialmente le due num. 28 e 29; le tinte più deboli sono le celesti num. 16 e 17, i biondi num. 1 e 2, ed il giallo num. 18.

Alcuni colori si rinforzano, altri no. Il rosso, per esempio, dello spettro unito al violetto forma una bellissima lacca, che è un rosso molto più vivo del prismatico. Lo stesso rosso unito al verde forma una mischia di poco valore. Le tinte della scala hanno in sè tutti i colori prismatici, e la loro forza dipende appunto dalla proporzione degli elementi ch'entrano nella loro composizione. Le lacche abbondano di rosso e di violetto, che sono i due colori che si rinforzano di più, come se l'uno fosse l'ottava dell'altro. Le tinte celesti sono debolissime, perchè a riserva del blu che è un poco in eccesso, gli altri colori ch'entrano in quella tinta, non producono, per le giuste loro proporzioni, altro che del bianco.

Non si può dire a tutto rigore che la forza sia in ragione inversa della chiarezza, perchè le tinte più scure num. 10, 11 e 12 la cedono in forza alle lacche num. 28 e 29. Con tutto ciò sussiste una relazione manifesta fra le due proprietà, essendo sempre vero che i colori più deboli appartengono alla classe dei più chiari, come i più forti appartengono alla classe dei più scuri.

Le lamine sottili riflettono, ad ogni grossezza, de' colori diversi: o questi colori riflessi sono tali da rinforzarsi reciprocamente, e ne risulta una tinta forte; o non si rinforzano, e ne risulta un bianco che domina nella tinta. Così si rende abbastanza palese il motivo per cui la chiarezza d'una tinta non si ottenga, in generale, che a spese della sua forza.

Vaghezza e monotonia.

La vaghezza consiste in una certa varietà che spicca più sopra alcune tinte che sopra alcune altre. Il giallo, p. e., ed il rosso dello spettro hanno un tono a sè: il dorè ha in sè lo spirito del rosso e del giallo, ed è più vago dell'uno e dell'altro.

Le tinte più vaghe della scala cominciano ai ranci 22 e 23 e vanno sino alla fine.

Il primo elemento del piacere è la varietà. La purezza, la semplicità d'una tinta diviene, sotto questo punto di vista, un difetto che i pittori filosofi hanno sentito benissimo col raccomandare l'uso de' colori composti più che dei semplici (1).

La tinta più pura della scala è forse il giallo num. 19. Questa tinta piace moltissimo al primo colpo d'occhio; indi si ritrova *monotona*, e l'occhio corre per ricrearsi alle tinte superiori che risvegliano, ciascuna, il sentimento di più colori. Un quadro che abbondi di giallo, mancherà sempre di vaghezza, e produrrà uno degli effetti più disgustosi, la *monotonia*.

Nulla di più vago dei colori cangianti. E perchè? non vale la pena di dirlo dal momento che sono cangianti.

È noto come i pittori, per dare della vaghezza ai loro quadri, li coprano di certe velature. I colori del quadro traspariscono al disotto; si mescolano senza confondersi al color proprio delle velature, e così ne nasce una varietà, un brio, che non saprebbe conseguirsi in altra maniera.

Calore e freddezza.

I pittori chiamano *calde* le tinte che contengono in sè l'e-

(1) *Mengs*. Lezioni pratiche di pittura §. V.

lemento del rosso; *fredde* l'altre dove abbonda l'elemento dell'azzurro.

Il rosso è il colore più forte, il più vivo: è il colore del *fuoco*, e del *sangue*, il quale riscalda, infiamma tutte le tinte dove si introduce. Associata l'idea del calore al rosso, l'azzurro che ha un sentimento affatto differente, diviene il color freddo in grado supremo.

Il giallo si avvicina più alla natura del rosso che a quella dell'azzurro; e per conseguenza un colore piuttosto caldo che freddo.

Il verde schietto non può dirsi nè caldo nè freddo; tende però a divenire o l'uno o l'altro secondo che si combina al giallo od all'azzurro.

Le tinte violacee della natura sono molto calde in grazia del rosso che contengono.

Allegria e tristezza.

L'allegria non va confusa colla vaghezza, nè la tristezza colla monotonia: sono due sentimenti più decisi che sembrano appartenere, il primo dell'allegria ai colori bassi dello spettro rosso, rancio, ec. ec., e l'altro opposto della malinconia ai colori alti violetto, indaco, ec ec.

Le tinte più tristi della mia scala sono, per avviso di tutti, quelle dei tre num. 10, 11, 12 dove abbondano i colori alti dello spettro. Queste tinte, non bisogna dissimularlo, sono anche le più scure, e tale oscurità potrebbe essere la causa della tristezza che cagionano nel mirarle. Con tutto ciò potrebbe quì nascondersi una legge generale che merita d'essere investigata, partendo dai fenomeni dell'acustica, di cui si conosce meglio la natura.

Sulla natura del patetico e dell'allegro in musica ed in pittura.

Un'esclamazione, un grido di gioia è composto di note che vanno dal grave all'acuto; un verso di pianto, di dolore si compone al contrario di note che discendono dall'acuto al grave. È cosa singolare, ma pur vera, che la stessa scala di note cantata o suonata, ora ascendendo dal grave all'acuto, ed ora discendendo dall'acuto al grave, produca due effetti del tutto opposti. Nel primo caso il sentimento è d'un'allegria decisa; nel secondo d'una tristezza la più spiegata. È questo un fatto fisico-fisiologico che rimarrà da spiegare, ma che frattanto può servire di legge per tutti i casi analoghi (1).

(1) Io credeva d'aver per il primo fatta questa osservazione, quando un dot-

Il violetto è sicuramente un colore che desta mestizia. Sarebbe egli mai così tristo in grazia d'una tal legge? Osservo la tavola dei colori immaginarii, e trovo che al violetto corrisponde il giallo-verde. Già si sa che nella teoria delle vibrazioni il violetto è prodotto dalle vibrazioni più brevi, e il rosso dalle vibrazioni più lunghe. Il passaggio dunque dal color vero, il violetto, al colore immaginario, il giallo-verde, si fa dall'acuto al grave conforme alla legge delle note lugubri. Non vi è altra differenza che l'orecchio sente queste note come gli arrivano, l'una dopo l'altra, dal mondo esteriore, mentre l'occhio non riceve dal di fuori che l'impressione del solo violetto: il rimanente sarebbe un giuoco interno dipendente dalla facoltà che hanno le fibre ottiche di passare, da sè, dal color vero all'immaginario. Questa differenza non distrugge l'analogia: conduce solo a riconoscere nell'occhio una sensibilità più squisita, bastando in esso una semplice disposizione, una semplice tendenza per produrre ciò che non nasce nell'orecchio che in virtù d'una causa esteriore. Ora che l'occhio sia un organo sommamente più delicato dell'orecchio, lo provano gli stessi colori immaginarii, i quali non hanno nell'altro senso il fenomeno corrispondente di suoni che si eccitino nell'orecchio per opera sola di quelli che il timpano ricevette dapprima.

È da gran tempo che si distingue in musica l'*armonia* dalla *melodia*: nasce la prima da una serie di suoni armonici prodotti tutti nell'istesso tempo; nasce la seconda dalla successione di certi suoni fatta con certe regole. La scienza dei colori reclamerebbe essa una distinzione dello stesso genere? Io guardo un bel quadro, e resto, al primo colpo d'occhio, colpito dalla disposizione armonica de' bei colori ond'è dipinto: questo è il primo effetto, opera d'un momento solo. Esamino, studio in seguito la composizione *fissando attentamente* lo sguardo ora sopra un punto, ora sopra un altro. Il colorito di queste parti non aveva prima che l'incanto della bellezza, e dell'armonia delle tinte: ora queste medesime tinte *guardate più intensamente* risvegliano o tendono a risvegliare l'idea dei colori immaginarii, ed acquistano così un sentimento, un'espressione che loro mancava quando erano osservate alla sfuggita. Si disse già che dal violetto ne nasceva naturalmente il giallo-verde, e che il sentimento di quel colore poteva tendere alla mestizia in grazia del passaggio ch'era da un tono acuto ad uno più grave. I colori bassi dello spettro, rosso e dorè, hanno per colori immaginarii l'uno il verde-azzurro, l'altro l'indaco. In amendue i casi il passag-

o di Francia mi fece accorto che Alessandro-Giovanni Morel aveva, nella sua opera intitolata *Musique appliquée*, dichiarato un concetto consimile. Quest'Autore dice infatti che l'effetto della *marcia discendente* è quello del piacere, delle sensazioni dolci, molli; e che al contrario l'effetto della *marcia ascendente* è quello delle sensazioni vive, forti. (*Paris. chez Bachelier* 1816).

gio è dal grave all'acuto, e secondo la legge il sentimento di que' due colori dovrebbe piegare all'allegria, come v'inclina difatti a giudizio di tutti.

Quest'analogia fra i suoni ed i colori potrebbe essere più apparente, che reale: io doveva però avvertirla e svilupparla per le nuove idee ch'essa può suggerire.

Reggio 29 *Giugno* 1830.

SOPRA

LA POLARIZZAZIONE DE' COLORI

APPENDICE

ALLA PRECEDENTE MEMORIA

Quando si formano gli anelli di Newton fra uno specchio metallico ad una lente leggermente convessa riescono nelle grandi incidenze, de' curiosi fenomeni di polarizzazione che furono analizzati dal celebre Arago in uno de' suoi classici lavori (1). Le tinte uniformi della mia scala si polarizzano anch'esse sul loro fondo metallico, e danno luogo ad effetti che sebbene analoghi a quelli d' Arago, pure mi sembrano interessanti abbastanza per essere riferiti in quest' appendice, e legati fra loro in modo da rischiarare alcuno de' punti più difficili dell'ottica.

I. Lamine sottili isolate

I colori delle bolle di sapone, delle lamine di mica ridotte al massimo attenuamento, ec. ec. guardati attraverso lo spato d' Islanda, danno, *in tutte le incidenze*, due immagini dello stesso colore, e presso che della medesima intensità.

Le lamine sottili non valgono dunque da sè sole a polarizzare i raggi di luce, che compongono le rispettive loro tinte.

II. Lamine sottili, applicate a superfici metalliche

Sono tali quelle della mia scala cromatica, egualmente che tutte le altre della medesima origine. Il fondo metallico, su cui sono applicate, polarizza per modo i loro colori, che questi si dividono nel traversare lo spato d' Islanda. La separazione ha luogo nelle incidenze oblique; e le due immagini che ne risultano, hanno tinte affatto differenti, e tali da sembrare sovente complementarie l' una dell' altra. In realtà non lo sono giammai: la loro riunione, per quanto mi risulta dai più esatti confronti, ricompone la tinta che spetta alla lamina sottile in quella data inclinazione, secondo la quale si fa l' osservazione.

(1) *Memoires d' Arcueil. Tom. III. pag.* 323.

Natura del polimento.

Non mi sono accorto d'alcuna differenza a questo riguardo. I polimenti a specchio hanno bensì il vantaggio di procurare delle immagini più nitide e distinte di quelle che risultano da polimenti meno perfetti; ma la legge del fenomeno mi sembra in ogni caso la medesima. Conservi pure il fondo metallico tutti que' segni che derivano da uno smeriglio poco affinato, e le immagini colorate si presentano le stesse tanto nel caso in cui l'osservazione si faccia nel senso di que' solchetti, quanto nel senso perpendicolare.

Inclinazione.

La separazione de' colori nelle due immagini non comincia in tutte le tinte della scala allo stesso grado d'obliquità. La serie degli azzurri 12, 13, 14 si distingue grandemente sotto questo rapporto prestandosi essa alla separazione de' colori molto prima d'ogni altra tinta. In generale il fenomeno della più completa separazione cade fra i 5 e 15.° d'inclinazione.

Intensità.

L'intensità delle due immagini colorate varia da una tinta della scala all'altra: ora l'immagine ordinaria è la più colorata; ora lo è la straordinaria.

Le prime tinte della scala che sono quelle le quali corrispondono al I.° anello di Newton, portano quasi tutto il loro colore nell'immagine ordinaria: le ultime tinte corrispondenti al IV.° anello caricano invece del proprio colore l'immagine straordinaria.

Si vedrà in fine l'importanza di quest'ultima osservazione.

III. Tinte cangianti

Si sa che i colori delle lamine sottili guardati obliquamente sono diversi da quelli che si osservano nell'incidenza perpendicolare. La legge generale di questi cangiamenti si è che le varie tinte passano successivamente dall'una all'altra, discendendo la scala per modo che i numeri superiori si convertono di mano in mano negl' inferiori. È noto come gli anelli di Newton si dilatino nell'osservarli obliquamente: la legge or ora riferita non è che l'espressione compendiata di questa osservazione.

Finchè si tratta d'incidenze poco oblique, la legge di cui si parla, si verifica abbastanza esattamente anche sulle lamine sottili applicate alle nostre lastre metalliche. La cosa procede altrimenti nelle incidenze più forti, massime sopra certe tinte. Il

giallo, p. e., della scala N.° 18 vien dopo la serie degli azzurri 13, 14 . . . : ora invece di presentare queste tinte nelle incidenze oblique, si converte in un rosso della forza del N.° 28.

Se invece di fare queste osservazioni sopra le tinte uniformi della scala, si facciano in complesso sopra i miei anelli colorati ottenuti col solito processo elettro-chimico, si vede, quasi tutt' a un tratto, comparire un nuovo anello brillantissimo in mezzo al secondo; luogo ch'era prima occupato da tinte languidissime come sono i gialli 17, 18, 19. Questa comparsa, che mi fece gran caso la prima volta che l'osservai, non presenta in sostanza nulla di nuovo, dopo d'aver veduto, nell' esame delle singole tinte, che i colori più languidi 17, 18, 19 sono appunto quelli che nell'incidenze oblique si convertono in rossi i più vivaci.

IV. Causa depolarizzante.

Copro le tinte della scala con uno strato qualunque d'alcool, d'acqua, d'olio ec. e poi le osservo nuovamente, attraverso lo spato d'Islanda. Mancano in tal caso gli accidenti osservati dapprima sulle tinte affatto scoperte: la separazione de' colori non ha più luogo; le due immagini compariscono dello stesso colore; e l'anello di cui si è parlato poc'anzi, cessa anch'esso di comparire nel luogo indicato.

V. Metalli colorati col fuoco

Acciajo.

Le molle da orologio sono ordinariamente temprate al segno di presentare il colore violetto o turchino. Guardata questa tinta, sotto una certa incidenza, attraverso lo spato d' Islanda, essa trasporta tutto o quasi tutto il suo colore nell'immagine straordinaria: l'ordinaria rimane bianca del tutto o poco meno.

Sotto incidenze maggiori, l'immagine straordinaria si colora d'un rosso di fuoco: l'ordinaria apparisce bianchiccia o leggermente cerulea (1).

Il blu N.° 13 della nostra scala si comporta assai diversamente: non si trova difatti incidenza sotto la quale questo colore rimanga tutto o quasi tutto nell'immagine straordinaria: passa al contrario nell'immagine ordinaria: la straordinaria prende un color biondo.

I fatti chimici (pag. 179) ci avevan già indicato una differenza di natura fra i veli sottili dell'acciajo colorato col fuoco, e gli altri dello stesso acciajo colorati col processo elettro-chimico. Le proprietà ottiche ci somministrano ora una prova novella di tale

(1) Questa osservazione si deve al D. Brewster, che la fece sino dal 1812.

differenza, mostrandoci che il poter rifrangente d'una delle due specie di veli debb'esser considerabilmente minore del potere dell'altra.

Rame.

I colori del rame si dividono anch'essi attraverso il solito spato d'Islanda; gli uni cioè vanno per la via dell'immagine ordinaria, gli altri per la straordinaria.

Ferro speculare.

I bei colori di questa miniera di ferro appartengono alla stessa classe. Si separano anch'essi come i precedenti. Non è raro di trovare fra i cristalli di questo ferro qualche faccia tendente al color di rosa. L'immagine ordinaria viene in allora colorita di rosso, la straordinaria di verde. È questo uno dei casi in cui si sarebbe tentati di credere le due tinte complementarie l'una dell'altra. È però certo che non lo sono, perchè riunite insieme ricompongono il primitivo color di rosa.

Il blu del ferro speculare si divide sotto lo spato d'Islanda a un dipresso come la tinta corrispondente della scala. Il poter refringente de' veli sottili che colorano quella miniera non differisce dunque gran cosa da quello de' veli sottili delle nostre lamine, i quali non sono sicuramente veli metallici. Valga questa riflessione per dubitare sempre più della natura d'ossido che l'opinion comune accorda alla velatura del ferro speculare.

VI. Colori metallici

Solfuro di ferro.

Questo minerale cristallizza, come si sa, in cubi; è opaco quanto mai si può dire, e di color giallo. Le sue faccie hanno bene spesso il lustro metallico, e sono tali che guardate nella più grande obliquità possibile, quasi cioè orizzontalmente, cangiano di colore: di gialle ch'erano divengono verdognole.

Osservate poi nella medesima incidenza collo spato d'Islanda si hanno due immagini di colore differente, l'ordinaria cioè d'un roseo languidissimo, e la straordinaria d'un verde piuttosto cupo.

Ottone.

Questa lega è pur essa di color giallo, ed alcune specie di essa presentano, sebbene in un modo molto meno distinto, gli accidenti del solfuro di ferro: diventa cioè un tantino verdognola

nelle incidenze obliquissime, ed attraverso lo spato d' Islanda dà l'immagine ordinaria d'un color di rosa pallidissimo, e la straordinaria d'una tinta che tende al verde.

Questi sono finora i due soli casi che mi si sieno presentati di colori cangianti in sostanze di natura metallica e perfettamente opache. Se ne riscontreranno probabilmente degli altri, ma quand'anche rimanessero soli, non sarebbero per questo meno concludenti, e atti a ravvicinare sempre più gli effetti inerenti all'opacità cogli altri della trasparenza. Per tal modo il principio delle lamine sottili riceve nuova forza, e tale, mi sembra, da distruggere i sospetti che potevano rimanere sopra la sua generalità.

VII.° Colori animali

Chylocopa violacea. (Fab.).

L' ala di quest' ape è violacea.
Immagine ordinaria ..... rosso-violacea
id. straordinaria .... verde scuro.

Crysomela graminis (Fab.).

Ala di color verde-giallo.
Immagine ordinaria ..... giallognola
id. straordinaria ..... verde-scuro.

In questi due casi, egualmente che in altri dello stesso genere, non vi ha superficie metallica a cui riferire la polarizzazione della luce. Sarà questa in allora prodotta forse da altri piani di riflessione. La trasparenza di que' sistemi colorati non è completa; e sussiste sempre che le lamine sottili perfettamente trasparenti non valgono da sè sole a polarizzare i proprj colori.

Osservazione generale.

I colori di cui abbiamo parlato fin qui appartengono tutti alla classe dei *colori cangianti.* I colori non cangianti si comportano diversamente. Abbiamo a proposito di quest'ultima specie, un' osservazione del celebre Arago, la quale merita d'esser riferita, ed è che i raggi di luce che formano il color proprio d' un corpo, si trovano in gran parte polarizzati perpendicolarmente al piano d'emergenza. Secondo quest'osservazione un corpo qualunque colorato che si guardi obliquamente attraverso lo spato d'Islanda, deve trasportare la più gran parte del suo colorito nell' immagine straordinaria, e riservarne ben poco per l'ordinaria. Questo è per appunto ciò che ho osservato generalmente su' colori non cangianti.

Noi abbiamo veduto altrove che i veli sottili della nostra scala divengono tanto meno trasparenti quanto più s'ingrossano, e che finiscono per divenire totalmente opachi, pervenuti che sono ad un certo grado di spessezza. Costituiscono allora uno strato di color rosso o nero come si notò a suo luogo (pag. 178). In tale stato la tinta rossa o nera è stabile, e si trasporta quasi tutta nell'immagine straordinaria, come accade a qualunque altro color permanente.

I colori alti della nostra scala appartengono a veli che sono ancora abbastanza trasparenti per non alterare sensibilmente il giuoco di luce delle lamine aeree di Newton. Ad onta di ciò comincia a farsi sentire in essi la natura del color permanente, che è di polarizzarsi secondo la legge d'Arago, in modo cioè da trasportare la più gran parte del loro tono nell'immagine straordinaria.

Non par dunque che nemmeno sotto il punto di vista della polarizzazione esista alcuna differenza essenziale fra i colori *cangianti* delle lamine sottili ed i *permanenti* de'corpi. Si passa dall'una all'altra classe per gradi impercettibili, e la polarizzazione regolata ovunque dalla medesima legge non farà che modificarsi sui corpi a seconda de'rispettivi gradi di trasparenza e refrangibilità (1).

(1) Dopo l'ultimo lavoro dell'illustre Dott. Brewster sulla *polarizzazione elittica* de' metalli è facile da vedere che le osservazioni mentovate di sopra si riferiscono, se non tutte per la maggior parte almeno, a quest'ultimo genere di polarizzazione. Ma qual'è precisamente l'influenza ch'esercitano sul risultato i colori naturali de' corpi, ed i veli sottili, più o meno trasparenti, applicativi sopra artificialmente? Questo è ciò che non mi sembra ancora fissato, e per cui non saranno forse da disprezzarsi totalmente i pochi materiali raccolti in quest'*Appendice*.

RECHERCHES

SUR PLUSIEURS

PHÉNOMÈNES CALORIFIQUES

ENTREPRISES AU MOYEN

DU THERMO-MULTIPLICATEUR

Par MM. Nobili et Melloni

Présenté à l'Académie des Sciences le 3 septembre 1831.

Le thermo-multiplicateur est une espèce de thermoscope, dont la première idée est due à l'un d'entre nous qui en donna connaissance au public, l'année dernière, par une note insérée dans la Bibliothèque universelle de Genève

Cet instrument, qui a reçu depuis des perfectionnemens importans par nos soins réunis, sert à découvrir, comme son nom l'indique, les plus faibles sources de chaleur. Pour donner une idée de son extrême sensibilité, il nous suffira de dire qu'il est affecté par la chaleur naturelle d'une personne placée à la distance de 25 à 30 pieds.

Les principales pièces qui composent le thermo-multiplicateur sont: 1.° une pile thermo-électrique; 2.° un galvanomètre à deux aiguilles, spécialement destiné aux courans thermo-électrique. C'est le premier de ces appareils qui constitue véritablement le corps thermoscopique; le second sert de simple indicateur. La chaleur excite des courans électriques dans la pile; ces courans passent par deux fils métalliques qui joignent ensemble les deux appareils, se transmettent au galvanomètre, et agissent par influence sur l'aiguille aimantée en la faisant tourner autour de sa position naturelle d'équilibre d'une quantité plus ou moins grande, selon l'intensité de la source calorifique.

On sait que le calorique peut se transmettre immédiatement d'un corps à l'autre, ou se propager à distance par rayonnement: de là deux espèces de recherches thermoscopiques qui exigent chacune une pile particulière.

Sans entrer dans tous les détails de construction, nous nous bornerons, pour le moment, à indiquer la précaution générale que l'on prend de teindre avec du noir de fumée l'extérieur des piles destinées aux experiences du calorique rayonnant, et la

raison en est facile à saisir lorsqu'on se rappelle la propriété bien connue que possèdent les surfaces noircies d'absorber les rayons calorifiques. Quant à la chaleur qui se propage immédiatement de l'un à l'autre corps, il est évident que la couche de noir de fumée serait nuisible à cause de son imparfaite conductibilité: c'est pourquoi les piles construites dans le but d'apprécier la chaleur de contact doivent être débarrassées à leurs surfaces de toute substance étrangère, et conserver leur brillant métallique.

Il y avait quelques obstacles à vaincre dans la construction des piles pour le calorique rayonnant. Après plusieurs essais, nous nous sommes arrêtés à la disposition suivante, qui a été appliquée avec succès sur plusieurs appareils semblables à celui que nous avons l'honneur de présenter à l'Institut.

Dans cet instrument (fig. 26), la pile est composée de 38 élémens (1) d'antimoine et de bismuth, de forme prismatique aplatie *aa'*, *bb'*, . . . soudés ensemble alternativement sous des angles très-aigus, de manière à former une chaîne métallique continue, disposée en divers rangs parallèles, communiquant par leurs extrémités plus proches. Les rangs sont de différentes longueurs, afin de les faire tenir dans un cercle *MN* qui les embrasse tous transversalement vers leur ligne mitoyenne. Il est presque inutile de dire que les élémens ne se touchent entre eux que par les endroits soudés, et que ces pièces métalliques sont électriquement isolées du cercle qui les soutient.

Au moyen de cette disposition, les soudures impaires, 1, 3, 5, etc., se trouvent toutes d'un même côté, et dans un même plan parallèle à celui du cercle: elles forment une des *faces* de la pile; les soudures paires, 2, 4, 6, etc., sont tournées du côté opposé, et costituent la seconde face.

Ceux qui connaissent la nature des piles thermo-électriques, et la manière de les mettre en activité, concevront immédiatement le jeu de l'appareil. Les communications avec le galvanomètre étant établies, si la température se maintient parfaitement égale des deux côtés, les forces électromotrices ne changent pas, et l'indicateur ne donne aucun signe de mouvement; mais

(1) MM. Fourier et OErsted avaient annoncé que dans les piles thermo-électriques, l'effet augmentait avec le nombre des élémens, mais diminuait presque dans la même proportion avec la longueur du circuit, de manière qu'on ne gagnait rien, ou très-peu de chose, en doublant ou en triplant le nombre des élémens, lorsqu'on leur conservait la même longueur (*Annales de Chimie*) Nous pensons que les expériences de ces deux illustres physiciens n'ont été ni assez exactes ni assez variées pour en déduire une loi générale. Les premières piles, construites dans l'idée d'apprécier le calorique de contact, n'étaient formées que de six élémens (*Bibliothèque universelle Juillet* 1830): nous en avons successivement porté le nombre jusqu'à 62 dans les piles pour le calorique rayonnant, en maintenant toujours constante leur longueur, et la sensibilité de nos appareils s'est sans cesse accrue d'une quantité notable à chaque nouvelle augmentation.

s'il arrive la moindre variation calorifique dans l'une seule des deux faces, tandis que l'autre ne subit aucun changement, on obtient aussitôt des courans d'électricité qui parcourent le circuit métallique, et font dévier plus ou moins l'aiguille du galvanomètre dans l'un ou l'autre sens, selon la force et la nature de la variation thermométrique.

Chaque côté de la pile porte une enveloppe particulière en métal, dont la forme change avec le genre des phénomènes calorifiques que l'on se propose d'examiner. Dans le cas ordinaire, ou il s'agit de découvrir les petites différences de température qui existent entre l'atmosphère et les corps fort éloignés de l'instrument, une des faces de la pile est environnée d'une enveloppe conique *R* qui fait l'office de reflecteur; l'autre porte un tube cylindrique *T*. Chaque appendice est muni d'un couvercle afin de pouvoir le fermer ou l'ouvrir à volonté.

Une tige à vis *V* fixée sur le cercle dans une direction perpendiculaire aux élémens sert à établir l'appareil sur un support qui peut le faire tourner dans tous les sens. De l'autre côté du cercle on trouve deux petites chevilles *C*, *C'* légèrement coniques; elles sont soudées intérieurement aux extrémités de la pile.

Pour mettre l'instrument en activité, on n'a qu'à introduire chaque cheville dans une des clés à ouverture conique *F*, *F* fixées aux bouts des fils qui servent à établir les communications avec le galvanomètre.

C'est avec des appareils de cette nature que nous avons entrepris les recherches thermoscopiques dont nous allons présenter l'ensemble; nous réservant de donner les détails particuliers de chaque expérience lorsque notre travail aura pris tous les développemens dont il est susceptible.

Expériences comparatives sur la sensibilité du thermo-multiplicateur et des thermoscopes.

La première obligation que nous imposait la decouverte du thermo-multiplicateur, était une comparaison exacte à faire entre la sensibilité du nouvel appareil thermoscopique et celle des divers instrumens du même genre employés jusqu'à ce jour dans les cabinets de physique. Nous avons en effet disposé plusieurs expériences comparatives qui toutes ont tourné à l'avantage du thermo-multiplicateur; mais il nous faut avouer que ces expériences ne sont pas entièrement décisives à cause du petit nombre et de l'imperfection des instrumens qui se trouvaient à notre disposition. Il serait donc superflu d'exposer nos observations à cet égard; cependant nous ne pouvons passer sous silence une remarque importante sur une imperfection qui existe dans

tous les anciens appareils thermoscopiques, imperfection qui les rend quelquefois tout-à-fait inutiles.

Quand on expose une lame de verre au soleil, ou à toute autre source de chaleur, les rayons calorifiques qui tombent sur sa face antérieure se divisent en deux parties: l'une pénètre instantanément dans la substance même du verre, et la traverse sous forme rayonnante; l'autre s'arrête d'abord dans les premières couches, s'y accumule successivement jusqu'à ce qu'elle ait acquis un certain degré de force, et se propage ensuite de proche en proche jusqu'à la surface postérieure. Il est bien prouvé, par les expériences de Laroche, que la première partie est d'autant plus petite, par rapport à la seconde, que la température de la source calorifique est moins élevée; d'où il résulte évidemment que, si les rayons proviennent d'une source très-faible, leur passage immédiat à travers le verre devient sensiblement nul. Mais dans tous les anciens thermoscopes, la substance thermoscopique est couverte d'une enveloppe en verre; ces instrumens ne peuvent donc servir, dans certains cas, à dévoiler la présence du calorique rayonnant; car si un corps chaud, dont la température soit très-peu élevée au-dessus de celle du milieu ambiant, ne fait que passer devant l'appareil, ses rayons seront tous arrêtés à la première surface de l'enveloppe, et ne pourront s'y reunir en quantité suffisante pour se transmettre de couche en couche jusqu'à la surface intérieure et à la substance thermoscopique.

Ce défaut n'existe point dans notre instrument, qui reçoit l'influence directe de la chaleur rayonnante, et développe aussitôt les courans électriques qui mettent l'aiguille en mouvement. En effet l'expérience de comparaison a parfaitement réussi.

Un thermo-multiplicateur et un thermoscope de Rumford furent placés vers l'un des bouts d'une longue table; à l'autre extrémité on posa un récipient rempli d'eau tiède, que l'on couvrit latéralment, et du côté des appareils, au moyen d'un écran. On ôta l'écran, et on l'abaissa aussitôt, de manière à établir une communication instantanée entre le récipient et les appareils: l'index du thermoscope de Rumford resta immobile, tandis que l'aiguille du termo-multiplicateur parcourut plusieurs degrés. Il importe de faire observer que le thermoscope était sensible à la chaleur du vase, lorsqu'au lieu d'abaisser de suite l'écran, on le conservait levé pendant quelque temps.

Passage instantané de la chaleur rayonnante à travers les corps transparens.

La chaleur rayonne librement dans l'air atmosphérique, elle traverse aussi sous forme rayonnante le verre et le cristal; on se-

rait donc tenté de croire que le passage instantané des rayons calorifiques à travers les corps dépend des mêmes circonstances qui donnent lieu à leur perméabilité par les rayons lumineux; ou, en d'autres termes, on dirait que le passage instantané de la chaleur rayonnante à travers les corps dépend de leur degré de transparence. C'est en effet ce qui a lieu généralement, car les rayons calorifiques traversent avec plus ou moins de facilité le sulfate de chaux, le mica, l'huile, l'alcool et l'acide nitrique. Nous nous en sommes assurés par l'expérience suivante.

Des lames ou des couches de ces différentes substances furent placées successivement à l'extrémité de l'appendice cylindrique dont l'axe était vertical et supérieur au réflecteur. On faisait passer rapidement au-dessus et à une certaine distance, un boulet de fer chauffé dans des charbons ardens ou dans de l'eau bouillante, et à l'instant même on voyait l'aiguille aimantée se dévier plus ou moins de sa position d'équilibre.

Mais si la loi générale du mouvement rapide de la chaleur dans les substances diaphanes se trouve établie pour les corps ci-dessus énoncés, elle est tout-à-fait en défaut à l'égard du liquide le plus utile, et le plus universellement répandu dans la nature. L'eau intercepte le passage instantané des rayons calorifiques, elle l'intercepte totalement; et l'obstacle qu'elle lui oppose est tellement insurmontable, que vainement nous avons réduit la grosseur de la couche liquide à la moindre épaisseur, vainement nous avons chauffé le boulet jusqu'au rouge, et ralenti son mouvement de traversée au-dessus du thermo-multiplicateur, l'index s'est toujours maintenu dans la plus parfaite immobilité.

D'après les expériences précédentes, on ne pouvait pas soupçonner que cette propriété singulière de l'eau dérivât de son état de liquidité, puisque l'alcool, l'huile et l'acide nitrique, tout en partageant la même constitution physique, se comportaient d'une manière opposée. On était donc en droit d'en tirer la conséquence, que l'effet était dû à la composition chimique. Cependant nous voulûmes résoudre la question d'une manière directe en essayant l'expérience sur l'eau solide. A cet effet, nous prîmes deux lames minces de glace bien transparente; nous les appliquâmes aux appendices du thermo-multiplicateur, qui dans ce cas étaient toutes deux cylindriques, et parfaitement égales: par ce moyen, le rayonnement vers la glace étant tout-à-fait pareil des deux côtés, l'aiguille se plaça au zèro de son èchelle. Alors nous prèsentâmes le boulet chaud à une petite distance de la lame de glace supèrieure; l'aiguille ne fit aucun mouvement.

Ces expériences, que nous avons plusieurs fois répétées, montrent avec la dernière évidence que l'eau doit à une propriété particulière, dépendante de la nature de ses molécules, l'exception remarquable qu'elle présente dans la classe des corps dia-

phanes d'arrêter complètement le passage instantané de la chaleur rayonnante (1).

Chaleur propre des insectes, du phosphore et de la lumière lunaire.

On a admis pendant long-temps que les insectes n'ont pas de chaleur propre, et, qu'à l'instar des corps bruts, ils prennent toujours la température du milieu ambiant. Cependant l'acide carbonique qui se forme dans l'atmosphère sous l'action de ces petits animaux mettait hors de doute l'existence d'une combustion lente dans l'intérieur de leur corps, combustion qui devait nécessairement produire un certain dégagement de chaleur. C'est en effet ce qui fut démontré plus tard par les expériences de John Davy. Ce physicien mesura la température de plusieurs insectes en introduisant dans leur corps, au moyen d'une incision, la boule d'un très-petit thermomètre, et s'aperçut que généralement elle était un peu supérieure à la température actuelle de l'atmosphère. Nous disons généralement, car l'auteur rencontra, sur onze insectes pris dans différentes classes, deux exceptions: l'une sur un *scorpion*, l'autre sur un *julus*, dont la température, au lieu d'être plus forte que celle de l'air, se trouve au contraire plus faible d'environ huit dixièmes de degré centigrade (*Ann. de Chim. et de Phys*).

On peut reprocher à la méthode de Davy 1.° de n'être applicable qu'aux insectes d'une certaine grosseur; 2.° de ne pas donner la température de l'animal dans l'état naturel, mais bien celle qu'il possède dans un état de violence et de douleur; 3.° de conduire à des résultats peu comparables, et toujours inférieurs aux températures réelles, par la soustraction plus ou moins grande de calorique qui a lieu au contact du thermomètre, dont la masse comparée à celle de l'insecte est toujours considérable, et par le froid variable produit dans l'évaporation des humeurs qui suintent de la blessure. A cette dernière cause d'erreur on doit peut-être attribuer les deux résultats négatifs obtenus par Davy.

Nous avons donc pensé que la question de la chaleur animale des insectes n'était pas suffisamment résolue par les expériences du physicien anglais, et que ses observations, pour prendre place dans la science, devaient au moins être confirmées par une méthode différente.

Or le thermo-multiplicateur légèrement modifié offre un moyen bien simple de répéter les recherches expérimentales de Davy, sans tomber dans les inconvéniens que nous venons de signaler.

(1) Questo risultato va ora rettificato a norma delle ultime esperienze del Sig. Melloni il quale ha proseguito da se solo queste *ricerche* con un successo degno dei più grandi elogi. (*Annales de Chimie et Physique*, Mai 1833).

Que l'on se figure en effet les deux appendices cylindriques du thermo-multiplicateur très-raccourcies, et terminées par des segmens sphériques en cuivre jaune bien poli; le rayonnement des corps extérieurs sera totalement intercepté par l'enveloppe métallique, et les deux pièces additionnelles étant égales, leur rayonnement propre vers chaque face de la pile se compensera exactement: l'aiguille aimantée conservera sa position naturelle.

Que l'on imagine maintenant un insecte placé à la moitié du rayon d'un des segmens et retenu dans cette position sans le gêner par un réseau en métal dont les fils soient bien fins et le tissu fort clair; il est évident que la plus grande partie des rayons calorifiques qui partent du corps de l'animal, ou tomberont directement sur la face voisine de la pile, ou s'y concentreront après avoir subi une riflexion sur le petit miroir sphérique environnant. De cette manière on pourra faire agir sur un des côtés de l'appareil presque toute la chaleur rayonnante de l'insecte, qui se trouvant inctat et parfaitement libre dans ses mouvemens, possédera pendant l'expérience sa vraie température à l'état naturel. Or, s'il y a réellement un excès de chaleur de l'insecte sur l'atmosphère, l'aiguille devra nécessairement l'indiquer par une déviation constante du côté de l'animal. C'est précisement ce que nous avons trouvé dans toutes nos expériences.

On peut donc admettre comme une vérité incontestable que les insectes possèdent une température tant soit peu supérieure à celle du milieu ambiant.

Nous ne nous étendrons pas trop sur les noms des différens insectes soumis à l'épreuve de notre appareil et sur les effets produits par chacun d'eux en particulier; il suffira de dire que nous avons opéré sur plus de quarante espèces indigènes prises dans toutes les classes et dans tous les états de métamorphose où se trouvent successivement ces animaux.

Les différences de déviation arrivèrent quelquefois à 30.°; mais tous les écarts de l'aiguille furent positifs; c'est-à-dire dans le sens calorifique de l'insecte; il n'y eut point d'exceptions à cet égard.

En comparant entre eux les résultats obtenus sur *l'ordre des Lépidoptères*, nous avons reconnu une loi qui nous semble digne de remarque. La voici: « Les chenilles possèdent toujours « une température plus élevée que les papillons et les chrysa- « lides. »

Or, le sy tème respiratoire des Insectes à l'état de chenille est beaucoup plus développé que celui de ces mêmes animaux métamorphosés en chrysalides ou en papillons; et on dirait à ces signes que l'insecte, dans la première période de sa vie, où sa nourriture est abondante et sa croissance rapide, convertit en acide carbonique une quantité d'oxygène beaucoup plus grande

que dans les périodes subséquentes. Il s'ensuivrait, en admettant ces considérations et la loi énoncée, que la chaleur de l'animal varierait, pour ainsi dire, proportionnellement à la quantité d'oxigène employé dans l'acte de la respiration.

La théorie qui attribue la chaleur animale à une combustion lente du sang, semble donc appuyée, non-seulement par la comparaison des oiseaux et des mammifères, des mammifères et des reptiles, qui ont un degré de chaleur propre d'autant plus élevé, que leur système respiratoire est plus actif; mais aussi par le rapport qui régne entre la vivacité de la respiration de certains insectes et leur température.

Il existe plusieurs corps qui, comme les insectes, donnent lieu à croire qu'ils possèdent une température un peu différente de celle de l'atmosphère. On peut les soumettre aussi à la même épreuve du thermo-multiplicateur. C'est ainsi, par exemple, que nous avons obtenu une déviation de 50.° en introduisant dans l'intérieur de notre appareil un très-petit morceau de phosphore, substance qui, au contact même du thermomètre le plus délicat, ne donne aucun indice de chaleur.

Le phosphore était cité comme preuve d'un dégagement de lumière dénué de calorique: on voit que, dans ces cas, la prétendue séparation des deux agens n'est point réelle. Or, on admet un autre exemple du même genre qui, d'après ce que nous avons observé sur la lumière phosphorique, semblait devoir conduire au même résultat: les rayons lumineux de la lune. Nous essayâmes d'évaluer l'influence calorifique de ces rayons, en les faisant tomber sur une des faces découvertes de la pile, après les avoir concentrés au moyen d'un miroir concave métallique; mais nous trouvâmes un obstacle très-fort dans le froid des régions célestes. L'effet produit sur le thermo-multiplicateur par le seul aspect du ciel serein est si grand que l'index magnétique se trouve presque poussé au *maximum* de divergence. Or il est facile de se convaincre que la force nécessaire pour faire varier la déviation d'un angle déterminé doit être d'autant plus grande que l'écartement est plus fort; l'aiguille aimantée se trouvant ici précisément dans le cas d'un pendule placé à différens degrés d'obliquité, qui pour changer à chaque fois sa divergence d'une quantité constante, exige un effort croissant avec la distance de la tige à la verticale.

Pour faire de bonnes expériences sur la chaleur lunaire, il aurait donc fallu neutraliser avant tout l'influence frigorifique du ciel, et ramener l'aiguille du thermo-multiplicateur à sa position naturelle d'équilibre. Les différens moyens que nous avons mis en oeuvre pour atteindre ce but, ne nous ont point complètement réussi; mais nous croyons pouvoir assurer que, si les rayons de la lune possèdent réellement une température propre, elle ne peut arriver qu'à une fraction de degré excessivement petite.

Au surplus, nous nous proposons de répéter nos expériences avec des moyens plus efficaces et des circonstances plus favorables.

Pouvoirs émissif, absorbant et réflecteur.

On connait les belles expériences de Leslie et de Rumford sur les différentes facultés que possèdent les corps de réfléchir, d'absorber ou d'émettre la chaleur rayonnante; elles peuvent se répéter avec la plus grande facilité au moyen du thermo-multiplicateur.

Veut-on comparer entre elles les facultés réfléchissantes? Il suffit pour cela de disposer horizontalement un des réflecteurs façonné en lame plane; de faire tomber dessus les rayons calorifiques, et de les recevoir après la réflexion sur une des faces de la pile. Pour donner aux rayons une direction convenable, on se sert d'un tube de fer blanc ou de carton noirci dans l'intérieur et incliné à l'horizon de 15.°. On adapte à l'un des côtés de la pile un tube de même nature auquel on donne une inclinaison pareille de l'autre côté de la verticale. Enfin on présente la main à l'ouverture supérieure du primier tube, et on note la déviation de l'aiguille. L'opération, répétée sur differens corps, donne les rapports cherchés.

Cette manière d'expérimenter présente plusieurs avantages. D'abord elle donne des résultats bien comparables, car on ne saurait imaginer une source de calorique aussi rigoureusement constante pour plusieurs heures, que la température du corps humain (1). Elle est en outre d'une exécution prompte, facile, et applicable à toute sorte de surfaces tant solides que liquides.

En l'appliquant aux substances métalliques, nous avons reconnu que le mercure est le meilleur réflecteur du calorique; viennent ensuite le cuivre et les autres métaux dans l'ordre indiqué par Leslie.

Le poli augmente le pouvoir réfléchissant, mais bien moins qu'on ne le pense ordinairement. En substituant une lame de laiton brut et tel qu'il sort de la fonte, à une lame de même qualité, mais tirée au dernier degré de poli, nous n'avons observé qu'une diminution de deux degrés sur 36.°

(1) On nous demanderes peut-être des preuves pour admettre une telle constance de température dans la main, qui semble souvent gelée en hiver, brûlante en été. Les sensations de froid et de chaud que l'on éprouve dans cette extrémité du corps peuvent bien indiquer, entre des époques très éloignées, des variations réelles de température; mais il est bien sûr que, lorsque l'état atmosférique ne subit pas de grands changemens, la main d'un homme sain conserve exactement le même degré de chaleur pendant une grande partie de la journée : car si l'on fait parvenir, directement ou indirectement, sa chaleur rayonnante sur l'une des faces de la pile, et si, après avoir noté la déviation de l'aiguille, on répète l'expérience à trois ou quatre heures d'intervalle, on trouve précisément le même résultat.

Les substances non métalliques n'ont presque aucune faculté de réfléchir la chaleur, quel que soit d'ailleurs l'état de leurs surfaces.

Nous ne dirons rien sur le pouvoir émissif dont l'étude nous a conduits à des résultats déjà connus; mais qu'il nous soit permis d'entrer dans quelques détails sur nos expériences relatives à la faculté absorbante.

La méthode que nous avons employée est très-simple. On colle les substances dont il s'agit de connaitre la force d'absorption sur des disques égaux en fer blanc, qui portent du côté opposé une tige centrale perpendiculaire à la surface. On les expose ensuite pendant quelques instans aux rayons solaires, et on les présente par couples au thermo-multiplicateur muni de deux appendices cylindriques, en les appliquant aux ouvertures mêmes des tubes. Chaque disque lance vers la face correspondante de la pile la chaleur acquise, et l'index magnetique tourne du côté où le rayonnement est plus fort. Pour avoir une contre-épreuve, il n'y a qu'à changer les places respectives des disques, et observer si l'aiguille tourne en sens contraire.

En opérant de la sorte, on n'obtient pas de résultats absolus, mais on connaît, avec la plus grande certitude, si telle surface est douée d'un pouvoir absorbant plus fort que telle autre.

Or, voici l'ordre que nous avons suivi dans nos recherches.

Il fallait s'assurer avant tout si, comme on l'admet depuis long-temps, l'état et la couleur des surfaces influent sur le pouvoir absorbant.

Pour résoudre la premiére de ces questions, nous nous sommes servis du même moyen employé par Rumford dans ses expériences sur le pouvoir émissif. L'un des disques métalliques se trouvait à l'état naturel, l'autre était couvert de rayures: le mouvement de l'aiguille eut lieu constamment du côté du disque rayé.

Quant à la seconde question, on ne pouvait la résoudre directement, puisqu'en changeant la couleur d'une surface, on altère nécessairement la nature chimique de la substance qui la compose. Il fallait donc recourir à une solution indirecte. A cet effet, nous avons teint plusieurs couples de disques en noir, ou en blanc, avec toutes sortes de couleurs végétales et minérales; nous en avons couvert d'autres avec des lames de marbre ou de bois, avec des étoffes de soie, de laine, de coton; tout cela de couleur noire ou blanche. L'absorption a été toujours plus forte dans les surfaces noires. Or, si l'effet a lieu quelle que soit la composition chimique des matières colorantes, il faut bien conclure qu'il en est indépendant, et qu'il dérive de la simple action de la couleur.

Ainsi l'état et la couleur des surfaces ont une influence

marquée sur le pouvoir absorbant. Mais ces deux circonstances sont-elles les seules qui communiquent aux corps la faculté d'absorber les rayons calorifiques?

Pour le savoir, il fallait d'abord se rendre indépendant des dites circonstances d'état de surface et de couleur; c'est ce que nous avons fait en prenant des étoffes blanches de coton, de soie, de laine, de chanvre et de lin, exactement pareilles dans la grosseur des fils, dans le tissu et dans la nuance. De cette manière il n'y avait à craindre, ni l'effet provenant de l'état ou de la couleur pure des surfaces, ni l'action due à la composition chimique des matières colorantes, puisque les différentes substances employées dans la confection de ces étoffes sont naturellement blanches. Les cinq tissus furent appliqués, avec de la gomme, sur autant de disques, exposés au soleil, et présentés au thermo-multiplicateur, comme nous l'avons indiqué tout à l'heure. Nous obtînmes l'ordre suivant de force absorbante: *soie*, *laine*, *coton*, *lin* et *chanvre*.

C'est tout juste l'ordre inverse des conductibilités.

Il n'y a pas de grandes différences dans le ton ou la valeur des teintes que possèdent naturellement les métaux ordinaires, et si l'on en excepte le plomb et l'étain, on peut leur communiquer à tous un degré presque égal de poli. Nous couvrîmes donc plusieurs disques de lames métalliques égales, et en les soumettant à l'épreuve du thermo-multiplicateur, nous eûmes le même résultat. L'échelle de conductibilité des métaux est, comme l'on sait, *cuivre*, *argent*, *or*, *acier*, *fer*, *étain* et *plomb*.

Celle que nous avons établie au moyen de nos expériences sur le pouvoir absorbant s'obtient en renversant précisément l'ordre des conductibilités.

On trouve dans la nature plusieurs minéraux qui affectent la couleur jaunâtre des substances ligneuses: nous prîmes en conséquence des plaques de bois et de pierre, égales autant que possible, quant à l'état et à la couleur des surfaces, et nous répétâmes sur elles les mêmes expériences que sur les métaux et les tissus. Les bois, qui sont plus mauvais conducteurs que les minéraux, furent encore ceux qui donnèrent la plus grande force absorbante.

Enfin, nous comparâmes le plomb à une pierre de couleur analogue. La substance moins conductrice se montra toujours la plus absorbante; c'est-à-dire que la pierre donna une force d'absorption supérieure à celle du plomb.

Au premier abord, on serait tenté de croire qu'un tel rapport inverse entre le pouvoir absorbant et la conductibilité n'est qu'apparent, et dérive de la résistance plus ou moins grande que le mouvement de la chaleur éprouve par l'action des corps: de telle sorte que le calorique, ne pouvant passer librement dans les couches intérieures de la substance peu conductrice,

s'accumule à sa surface en quantité plus grande que dans les substances douées d'une meilleure conductibilité. Mais alors la surface postérieure, dans le disque composé de matière peu conductrice, devrait évidemment acquérir une température moins élevée que dans le disque formé par le corps qui conduit mieux la chaleur; et en tournant du côté de la pile la face de chaque lame qui n'a pas reçu l'impression directe des rayons solaires, on devrait obtenir un effet inverse. Or cela n'a point lieu, car, quelle que soient les surfaces des deux lames que l'on présente au thermo-multiplicateur, on obtient toujours le même résultat : l'aiguille tourne constamment dans le sens calorifique de la plaque moins conductrice. L'élévation de température y est donc réellement plus forte; ou, en d'autres termes, il y a un excès réel dans la quantité de chaleur absorbée.

Concluons que: « A égalité de circonstances dans la couleur « et l'état de surface, un corps est d'autant plus doué de pou- « voir absorbant, que sa conductibilité est moindre. »

Cette loi, nouvelle et inattendue, nous semble destinée à jouer un grand rôle dans la théorie du calorique rayonnant.

SOPRA

LA FORZA ELETTROMOTRICE

DEL MAGNETISMO

DEI SIGNORI

L. Nobili e V. Antinori

Estr. dall' Antologia Num. CXXXI.
Novembre 1831.

Il sig. Faraday ha scoperto recentemente una nuova classe di fenomeni elettro-dinamici. Egli ha, su questo soggetto, presentata alla Società Reale di Londra una memoria la quale non è per anche pubblicata, e di cui è a noi pervenuta quella semplice notizia che il sig. Hachette comunicò all'Accademia delle Scienze di Parigi il giorno 26 dicembre prossimo passato in conseguenza di lettera ricevuta dallo stesso sig. Faraday. Questa relazione c'invogliò subito, il cav. Antinori e me, a ripetere l'esperienza fondamentale, ed a studiarla sotto i varii suoi aspetti. Lusingandoci d'essere pervenuti ad alcuni risultati di qualche importanza, ci affrettiamo a pubblicarli, senz'altro preambolo che quello della notizia medesima che ci servì di punto di partenza per le nostre ricerche.

« La memoria del sig. Faraday, così dice la notizia, è divi-
« sa in quattro parti. Nella prima, intitolata *Produzione dell'*
« *elettricità voltaica*, si trova questo fatto importante: che una
« corrente voltaica, che traversa un filo metallico, produce un'
« altra corrente in un filo che ne sia vicino; che questa se-
« conda corrente è in una direzione co. ria alla prima e non
« dura che un solo momento; che se si allontana la corrente
« produttrice si manifesta, sul filo sottoposto alla di lei azione,
« una secor a corrente contraria a quella che vi si eccitò da
« principio, vale a dire, nella direzione medesima della corrente
« produttrice.

« La seconda parte della memoria tratta delle correnti e-
« lettriche prodotte dalle calamite. Avvicinando delle calamite a
« delle spirali elici, il sig. Faraday ha prodotto delle correnti
« elettriche; allontanando queste spirali, delle correnti si forma-
« no in senso contrario. Queste correnti agiscono fortemente sul
« galvanometro; passano, benchè debolmente, attraverso l'a-
« cqua salata, e l'altre dissoluzioni, ma in un caso particolare il

« sig. Faraday ha ottenuto una scintilla. D'onde ne segue che « questo fisico produce le correnti elettriche scoperte dal sig Ampére servendosi unicamente di calamite.

« La terza parte della memoria è relativa a uno stato particolare d'elettricità, che il sig. Faraday chiama *stato elettrotomo*; egli si riserva di parlarne un'altra volta.

« La quarta parte parla dell'esperienza, non meno curiosa « che straordinaria, del sig. Arago, la quale consiste, come si sa, « a far girare un ago magnetico sotto l'influenza d'un disco di « metallo in rotazione, o viceversa. Il sig. Faraday considera « questo fenomeno come intimamente legato a quello della rotazione magnetica, ch'egli ha avuto la sorte di trovare, sono « dieci anni. Egli ha riconosciuto che, colla rotazione del disco « metallico sotto l'influenza d'una calamita, si può formare, « nella direzione de'raggi di questo disco, delle correnti elettriche in numero abbastanza considerevole, perchè questo disco divenga una nuova macchina elettrica. (Le *Temps* 28 Dicembre 1831).

I. *Magnetismo ordinario.*

Noi non abbiamo avuto bisogno di passare per nessun tentativo per riuscire nell'esperienza del sig. Faraday. Le prime spirali, che abbiamo avvicinate all'uno de' poli d'una calamita, ci hanno subito manifestata sul galvanometro la loro influenza. Tre sono i fatti che si osservano successivamente. All'atto dell'avvicinamento si vede in primo luogo l'ago dell'istrumento deviare da una parte per un certo numero di gradi, il che indica la presenza d'una corrente eccitata dal magnetismo sulla spirale messa preventivamente in comunicazione col galvanometro. Questa corrente dura ben poco, essa si estingue completamente come dimostra il ritorno dell'indice alla consueta sua posizione d'equilibrio; e questa è la seconda osservazione. La terza finalmente ha luogo nel togliere la spirale dalla presenza della calamita; l'ago in allora del galvanometro devia dall'altro lato, dimostrando con ciò lo sviluppo d'una corrente contraria a quella che si eccitò da principio.

Nell'esperimentare una spirale in forma d'anello fra i poli d'una calamita a ferro di cavallo, abbiamo osservato un'azione di molto minore a quella che si manifesta sul medesimo anello quando si attacca alla calamita la sua *ancora*, o questa si toglie bruscamente da quella. Un tal fatto ci ha suggerito l'idea d'avvolgere d'intorno ad una di queste calamite un filo di rame coperto al solito di seta, per avere in tal modo un apparecchio sempre montato per l'esperienza di cui si tratta. La spirale in allora destinata a sentire l'influenza magnetica si trova avvolta d'intorno alla calamita, e la causa immediata del feno-

meno risiede nell'ancora per la proprietà di cui gode questo pezzo di ferro dolce di calamitarsi e scalamitarsi rapidamente. O si distacca l'ancora, e la spirale ch'era in presenza di questo ferro gagliardamente calamitato, si toglie a un tratto dall'influenza di quest'azione, e si rinnova su di essa il caso d'una spirale avvicinata prima a una calamita, indi sottratta dalla medesima. O si riattacca l'ancora, e si rinnova a dirittura il caso dell'avvicinarsi d'una calamita, perchè tale diventa realmente quel pezzo di ferro all'atto d'affacciarsi a' poli della propria calamita.

Questa disposizione, oltre d'essere più attiva, gode d'un altro vantaggio, ed è di procacciare al fisico un *serbatoio costante* d'elettricità voltaica. Il bisogno d'una *corrente costante* si fa sentire in parecchie ricerche; e se il termo-magnetismo offre un mezzo plausibile per soddisfare a tali necessità come l'ho indicato altrove (1), pure non è punto da disprezzare il nuovo metodo che ora ci presentano le calamite coperte di spirali elettrodinamiche. Quivi la corrente è sempre pronta a manifestarsi. Supponiamo, come è il costume ordinario, di tenere attaccato alla calamita la sua ancora, e non si avrà che a distaccare questo pezzo per ottenere dalla spirale quella corrente, che vi esisteva dentro, in uno stato per così dire latente. Non servisse questo serbatoio che per riconoscere la sensibilità de' varj galvanometri, di cui debb'essere provveduto un fisico per le differenti sue ricerche, e sarebbe già questo un uffizio che renderebbe quella disposizione preferibile a tutte l'altre, non esigendo alcuna sorta di preparativi al momento di servirsene.

Due sono i modi di valersene, tanto cioè col distaccar l'ancora dalla calamita, quanto col riattaccarla. Quando si eseguiscano queste due operazioni colla medesima prontezza e dinanzi agli stessi punti della calamita, si ottengono sul galvanometro delle deviazioni in senso inverso, ma precisamente dello stesso valore. L'atto del distaccare è peraltro sempre egualmente istantaneo, e deve per la costanza dell'effetto preferirsi al modo inverso, il quale, per riuscire sempre il medesimo, esigerebbe un meccanismo che non vale la pena d'immaginare non che d'eseguire. Abbiasi cura di tenere l'ancora al giusto suo posto, e si avrà sempre, nel distacco, la medesima deviazione al galvanometro; prezioso risultato, lo replichiamo, da valersene in varie circostanze, e tale fors'anche da presentarci la misura della forza delle grosse calamite in un modo più esatto, che non è l'ordinario del peso che sono capaci di sostenere.

È già molto vantaggiosa la disposizione di cui si parla; ma è poi dessa veramente quella che produce il massimo effetto

(1) Questo mezzo consiste in un elemento termo-elettrico composto al solito di due metalli differenti e riscaldati nelle due giunture, l'una a 0°, l'altra ad 80.°. (pag. 114).

elettro-dinamico? Ve ne ha un' altra migliore e di non poco, e questa consiste nell'applicare la spirale elettro-dinamica alla parte centrale dell'ancora, in quel luogo cioè che corrisponde all' intervallo che separa i poli della calamita a ferro di cavallo; e si noti bene che in questo luogo una spirale di pochi giri è già tale da sorpassar nell'effetto un numero molto maggiore disposto altrove. Ecco dunque ciò che convien fare per trarre da una calamita tutto il partito possibile: conviene coprire di filo tutta la parte centrale dell' ancora, e non lasciar scoperte che le estremità per attaccarsi al solito contro i poli della calamita. La forma ordinaria dell'ancora non si presta troppo bene a ricevere d'intorno a se questa specie di grosso anello elettro-dinamico. Riducendola però come conviene vi si adatta sopra molto facilmente, e si ottiene con ciò l'effetto al suo più alto grado d'intensità. La ragione ne è evidente: due infatti sono le condizioni da soddisfare, l'una che la spirale senta tutta l'influenza delle forze magnetiche, l'altra che questa influenza venga sottratta nel tempo il più breve. Ora il filo avvolto d'intorno all'ancora è appunto nella posizione più favorevole per concentrare sopra di se le forze magnetiche; e queste forze gli mancano a un tratto nel momento del distacco, come esige la seconda condizione.

Spirali di diversi metalli

I metalli che abbiamo sperimentati sono quattro, rame, ferro, bismuto ed antimonio. Il ferro interessava come il primo fra i metalli magnetici; il bismuto ed antimonio per il posto distinto che occupano nella scala del termo-magnetismo. Da esperimenti eseguiti in circostanze approssimativamente eguali ci è risultato, che il rame è il più attivo sotto il punto di vista che ci occupa; ne viene in seguito il ferro a poca distanza; indi l'antimonio e per ultimo il bismuto. Attesa la fragilità di questi due ultimi metalli non avremmo, a dir vero, potuto ridurli alla figura di spirali che fondendoli in forme adattate. A questo mezzo, che riusciva lungo ed anche difficoltoso, abbiamo supplito con un ripiego. Si sono fatte delle spirali quadre con tanti bastoncini o verghette dei suddetti metalli, saldati alle estremità, od anche semplicemente premute le une contro delle altre per assicurare i contatti. Per la comparabilità dei risultati è poi inutile l'avvertire, ch' erasi data alle altre spirali di rame e di ferro la medesima forma quadrangolare.

II Scintilla magnetica.

La relazione posta in fronte all' articolo dice che *in un caso particolare il sig. Faraday ha ottenuto una scintilla*. Seb-

bene quest'espressione non somministri alcun lume, e ponga piuttosto in dubbio la costanza d'un fenomeno così straordinario, pure non abbiamo sospeso la ricerca, e siamo stati abbastanza fortunati per riuscire al di là delle nostre speranze. Ecco le viste teoriche che ci hanno condotto a questo importantissimo risultato, il quale, lo direm più chiaramente, non c'inspirava da principio che un debole grado di fiducia.

La pila non dà la scintilla che quando è composta d'un certo numero di coppie voltaiche. Un elemento alla Wollaston la produce da se solo, e, quando è d'una certa attività, la produce costantemente sul mercurio, a cui si conducono i fili congiuntivi destinati a chiuder il circuito. Nelle pile voltaiche, dotate d'un certo grado di *tensione elettrica*, la scintilla parte dai poli *zinco e rame* tanto nel caso di chiudere come di aprire il circuito. Sopra un solo elemento alla Wollaston la *tensione* è debolissima, e la scintilla non ha luogo che in una sola circostanza, all'atto cioè in cui s'interrompe il circuito. In questo momento la corrente, ch'era già in giro, s'accumula in guisa sul luogo dell'interruzione, che acquista quivi la *tensione* necessaria per lanciare la scintilla. Una tale *tensione* manca nell'altro caso di chiudere il circuito, e con ciò manca pure il salto della scintilla.

Le correnti, che si sviluppano sulle spirali elettro-dinamiche in virtù del magnetismo, sono anch'esse in giro, ma non circolano che per un solo momento, per quello cioè in cui le spirali s'avvicinano alle calamite o si allontanano da queste. Egli è dunque, concludevamo noi, in uno di questi due momenti che dovrà aprirsi il circuito delle spirali per tentare l'esperimento della scintilla.

Avevamo già preventivamente fissato le nostre idee intorno alla disposizione più favorevole delle spirali elettro-dinamiche. Non ci restava dunque che da scegliere una buona calamita a ferro di cavallo, fasciare l'ancora di filo di rame nel modo che abbiamo indicato di sopra, far pescare in una tazza di mercurio le estremità di questo filo, e poi sollevar l'uno o l'altro di questi capi al momento preciso in cui si attaccava o si distaccava l'ancora dalla sua calamita. Operando in due persone senza alcuna sorta di meccanismo, è più facile di mancare questi momenti che di coglierli; quando però si colpiscono, e ciò succede di tratto in tratto, si ha la soddisfazione di vedere una scintilla che non lascia nulla da desiderare.

Tale fu il modo col quale vedemmo le prime scintille; ma questo bel fatto meritando d'esser riprodotto a piacimento reclamava un apparecchio apposito; e noi dopo varie disposizioni più o meno complicate ci siamo fermati alla seguente, che al vantaggio di servir bene riunisce a nostro avviso il più alto grado di semplicità.

Digitized by Google

Tutto il congegno si trova sull' ancora della calamita. Questo pezzo, che ha la forma parallepipeda, porta nel suo mezzo la spirale elettro-dinamica, contenuta ivi da due guancie d'ottone fissatevi stabilmente sopra, alla distanza conveniente per entrare esse medesime nell' intervallo che separa i poli del ferro da cavallo, mentre tutto il pezzo s' attacca al solito alla calamita. Le estremità della spirale fanno capo ciascuna all' uno de' poli mediante due piccole molle in forma d' alette, attaccate all' ancora, le quali premono un tantino i poli stessi quando l' ancora è al suo posto. Per lasciar luogo a queste molle, l' ancora è più stretta dell' ordinario; copre la metà circa de' poli; il rimanente serve alle due alette le quali vanno in qualche modo isolate dall' ancora, perchè in questa disposizione l' uffizio di chiudere il circuito elettro-dinamico va riservato tutto al ferro di cavallo. Supponiamo che l' ancora sia attaccata a questo ferro. Le molle toccano i due poli, ed il circuito della spirale è metallicamente chiuso dalla calamita. Distacchiamo l' ancora, e il circuito si apre in due luoghi; or bene egli è nell' una o nell'altra interruzione, fra la molla ed il polo, che scocca sempre o quasi sempre la scintilla. Quando manca l'effetto, ciò deriva dal distacco che non riuscì bene: è per altro così facile di ripetere l' esperimento, che non conviene pensare ad un meccanismo che rimedi ad un inconveniente che si ripara con tanta facilità.

In quest' apparato la spirale avvolta sull' ancora è di rame. Sostituendone una di fil di ferro, si ha pure con questa la scintilla. Interessava quest' esperimento per veder se l' ordinaria influenza magnetica, che la calamita esercita sul filo di ferro, era tale da modificare, nel suo effetto, l' altro genere d' influenza, l' elettrodinamico. Non pare che l' una azione disturbi l' altra; prima però d' assicurarlo positivamente, sono necessarie delle altre prove, che intraprenderemo a tempo più opportuno.

III. Magnetismo terrestre.

Abbiamo preso un tubo di cartone del diametro di circa due pollici ed alto quattro. Gli abbiamo avvolto d' intorno un filo di rame isolato della lunghezza di 40 metri tenendo libere le due estremità per porle all' occorrenza in comunicazione col galvanometro. Il cannone era spianato in guisa da reggersi verticalmente sulla tavola da amendue le parti, il che permetteva di capovolgerlo a piacimento.

Si sa che un cilindro di ferro dolce, collocato parallelamente all' ago d' inclinazione, sente l' influenza del magnetismo terrestre; la parte inferiore acquista il polo magnetico del nord,

la superiore il polo contrario del sud. È questo un fenomeno di posizione che si determina sempre allo stesso modo su quella specie di ferro, altrettanto incapace di conservare per virtù propria il magnetismo ricevuto, quanto disposto a riceverne del nuovo da qualunque lato gli venga somministrato.

Alla nostra latitudine l' inclinazione dell' ago è di circa 63.°. Fissato in questa direzione il tubo di cartone, coperto della sua spirale elettro-dinamica, v' abbiamo collocato dentro un cilindro di ferro, ed all' atto dell' introduzione abbiamo visto sul galvanometro il movimento dovuto alla presenza d' una corrente eccitata dal magnetismo. Estraendo il cilindro si è ottenuto il movimento inverso. Niun dubbio adunque che il magnetismo terrestre basti da sè solo allo sviluppo della corrente elettrica. Non si deve però in questo luogo dissimulare una circostanza, ed è che quello sviluppo si effettua nello esperimento sopra indicato, coll' aiuto di un intermezzo, il ferro dolce, che s' introduce dentro la spirale. Questo è vero senza dubbio; ma vero è altresì che non è assolutamente indispensabile il ricorrere a quel sussidio per ottenere segni non equivoci dell' influenza di cui parliamo. Pongasi la nostra spirale cilindrica col suo asse parallelamente all' ago d' inclinazione; poi si rovesci nel meridiano magnetico con un mezzo giro di 180.°, e si vedranno al galvanometro comparire i segni della corrente, che si eccita sulla spirale, per la sola influenza del magnetismo terrestre.

Per riconoscere l' effetto non è nemmeno necessario di soddisfare rigorosamente alla condizione di operare nella direzione dell' ago d' inclinazione. Succede il fenomeno anche nella posizione verticale; l' effetto è semplicemente minore, ma distinto sempre al segno di non indurre in errore.

Noi abbiamo esperimentati tre fili di rame di differenti grossezze; il più sottile aveva mezzo millimetro di diametro; il medio 2 terzi, il più grosso 1 mil. Gli effetti sono cresciuti colle grossezze. Il primo ci ha date delle deviazioni di 2 a 4, il secondo di 4 a 8, il terzo di 10 a 20. Per ottener questi grandi movimenti si usa il solito artifizio d' invertire la corrente al momento il più propizio, che l' esperienza ripetuta più volte scopre facilmente all' osservatore.

Nello stato attuale della scienza, questa è di certo la corrente ottenuta nel modo il più semplice. È tutta opera del magnetismo terrestre, e questo magnetismo è sparso da per tutto. Noi ci riserviamo di studiare la maniera d' ingrandire l' effetto, e di farne anche qualche utile applicazione, se risponderanno all' aspettativa certi apparati che andiamo ideando. Il pensiero, che si presenta per il primo, sarebbe di profittarne per la misura delle intensità magnetiche terrestri; ma di quale precisione sarà mai suscettivo quel nuovo genere di combinazioni? Questo è appunto ciò che resta da determinare.

Digitized by Google

Il galvanometro, di cui si debbe far uso per l'esperienza di questo paragrafo, ha da essere sensibilissimo. Io replicherò in quest'occasione l'avvertimento che diedi altrove intorno a questa sorte d'istrumenti. Due sono i sistemi da adottarsi per ottenere il massimo effetto, l'uno serve per le correnti *idro-elettriche*, l'altro per le *termo-elettriche*. Il galvanometro del mio *termo-moltiplicatore* è di quest'ultima specie, e precisamente quello che convien adoperare in questi generi di ricerche (pag. 159). Se ne presenta anche il motivo, osservando che le nuove correnti di Faraday si sviluppano sopra circuiti interamente metallici, come le termo-elettriche del dott. Seebeck; e che come queste passano difficilmente attraverso i conduttori umidi.

IV. Tensione elettrica.

I tentativi che abbiamo fatto sin quì, sul nuovo genere di correnti, per ottenere all'elettrometro i soliti segni di tensione, non ci hanno condotto a nessun risultato positivo. I mezzi per altro, che abbiamo impiegato, sono ben lontani dal soddisfarci pienamente. Ne stiamo preparando de' nuovi, affine di attaccare la questione con armi più efficaci. Estenderemo in allora la ricerca anche alle combinazioni termo-elettriche, le quali meritano lo stesso studio, per la ragione che non hanno nemmeno esse presentato sin quì alcun segno sensibile di tensione. Su quest'ultima specie tenteremo pure, in circostanze favorevoli, l'esperimento della scintilla, ma senza dissimulare sin da questo momento un nostro dubbio, ed è che le correnti termo-elettriche sieno di loro natura le meno atte a produrre la tensione e la scintilla come indicheremo più chiaramente a suo tempo e luogo.

V. Effetti chimici e fisiologici.

Le nuove correnti del sig. Faraday passano, sebbene difficilmente, attraverso i conduttori umidi. Così dice la notizia, e così è realmente, come si verifica colla più grande facilità introducendo nel circuito delle spirali elettro-dinamiche un conduttore di quella specie. Nel caso delle altre correnti, che si conoscevano, io ho dimostrato altrove, che vi ha sempre decomposizione chimica, quando passano pei conduttori liquidi, e siano pur quelle correnti deboli quanto si vuole, che la decomposizione è sempre assicurata dalla condizione del passaggio attraverso del fluido (pag. 88). È molto probabile che anche le nuove correnti producano il fenomeno della decomposizione; ma non bisogna mai dimenticare il distintivo loro carattere di non durare che un brevissimo tempo. Io credo che questo tempo, comunque corto,

basti alla decomposizione; ma non avanzerò nulla di più prima d'avere interrogato su di ciò la gran maestra in tutto, l'esperienza.

I segni fisiologici consistono, come tutti sanno, nelle scosse o contrazioni al muscolo, nei sapori acre ed acidulo alla lingua, e nel lampo agli occhi. Per ottenere questi effetti, è di necessità assoluta che l'elettricità penetri dentro ai nostri organi, i quali appartengono alla classe de' conduttori umidi. Questa via, noi l'abbiamo già veduto, è molto difficile per le nuove correnti; con tutto ciò la rana, messa nel circuito delle nostre spirali elettro-dinamiche avvolte d'intorno alle ancore delle calamite, si scuote vivissimamente, ogniqualvolta si attaccano o si distaccano siffatte armature. L'esperienza è graziosa ed istruttiva; graziosa per la vista di convulsioni così gagliarde operate apparentemente dall'azione immediata del magnetismo; istruttiva perchè conferma il fatto del passaggio di quella corrente attraverso i conduttori umidi, e perchè di più ne dimostra come la rana si conservi in ogni caso il più sensibile de'galvanoscopi (pag.72). E qui si rinnova l'occasione di avvertire ciò che dichiarai in altro scritto intorno alla scoperta del dott. Seebeck. Non era punto necessario, io dissi, la scoperta d'Oersted e la successiva del galvanometro per giungere all'altra delle correnti termo-elettriche (pag.71). Bastava a svelarla la rana cimentata a dovere; e così pure, aggiungo adesso, bastava lo stesso sensibilissimo animale a scoprirci le nuove correnti di Faraday. Che se questa non fu la via onde si fecero quelle due scoperte, non è perciò men vero che si potevano fare col semplice aiuto di quell' interprete, che maravigliò l'Europa ai primi tempi del galvanismo.

VI. Magnetismo di rotazione.

Che succede egli, quando si avvicina al polo d'una barra magnetica una spirale elettro-dinamica? Si determina ne' ripetuti suoi giri una corrente, che rientra in sè stessa per le vie de' suoi capi che qui si suppongono congiunti insieme. Ora invece della spirale poniamo sotto l'influenza dello stesso polo una massa di rame. Che avverrà egli in tal caso? Ragion vuole che si ammetta dentro quella massa lo stesso sviluppo di correnti, colla sola differenza che, se nella spirale non potevan rientrare in sè stesse sopra ciascuna delle spire, qui che si tratta d'una massa continua, le correnti rientreranno a dirittura in sè stesse sopra que' circoli o zone di materia entro cui le determinerà l'influenza del magnetismo, il quale, nello stato attuale della scienza, non può egli medesimo essere considerato altrimenti che come la conseguenza d'un movimento della medesima natura, che

Digitized by Google

si compie tutt' all' intorno delle particelle del metallo magnetico. L'induzione sembra di per se abbastanza giustificata; pure a confermarla maggiormente abbiamo istituito il seguente esperimento. Si è preso un anello di rame, e, segnato un diametro su di esso, si sono all' estremità di questo saldati due fili congiuntivi destinati al solito uffizio di comunicare al galvanometro. Collocato questo anello fra i poli d' una calamita a ferro di cavallo, che è il luogo stesso dove sogliamo introdurre le nostre spirali elettro-dinamiche, si è subito manifestato al galvanometro il movimento dovuto alla presenza di correnti eccitate dal magnetismo sull' anello di rame.

Fissate in tal modo le idee intorno alle correnti circolari, che crediamo doversi sviluppare entro le masse di rame sotto l' influenza de' poli magnetici, si passa ad attaccare la questione del magnetismo di rotazione, mirabile scoperta del sig. Arago. Qui si hanno de' poli magnetici in presenza d' un disco, ed il disco, invece d' esser fermo come nel caso precedente, è in continuo movimento d' intorno al proprio centro. Quest' ultima è la sola condizione aggiunta, e per essa si vede che si complicherà bensì assaissimo il risultato finale del fenomeno, ma che in sostanza non dovrebbe accadere nulla di nuovo. Si tratterà in ogni caso di correnti sviluppate dal magnetismo sul luogo del disco dove questo magnetismo agisce direttamente. Questa parte è trasportata via dalla rotazione, e ne subentra un' altra su cui si esercita la stessa influenza, che è sempre di formar delle correnti in senso contrario a quelle che si suppongono esistere nel polo magnetico; correnti per altro che di loro natura tendono ad invertirsi, tolte che siano dalla presenza della causa che le produce, e che s' invertiranno di fatto ogni qualvolta glielo permetta la velocità con cui si eseguisce la rotazione. La teoria di questa specie di magnetismo ci sembra matura; noi cercheremo di sviluppare più dettagliatamente i principj fisici in uno scritto a parte, contentandoci d' avvertire quì il carattere particolare che la distingue da tutte l' altre specie, e per cui non poteva esser attaccata con vantaggio prima della scoperta del sig. Faraday. Questo carattere non consiste nella sola fugacità ch' essa divide col ferro dolce; consiste nell' essere un doppio magnetismo, *inverso* e *diretto*; inverso al momento che si produce in faccia della causa produttrice; diretto al momento dopo che questa causa sparisce.

Il sig. *Faraday* considera il magnetismo di rotazione del sig. Arago come interamente legato ad un fenomeno, ch' egli scoperse son già dieci anni. *Egli riconobbe fin d' allora*, così dice la notizia, *che per la rotazione del disco metallico sotto l' influenza d' una calamita si possono formare, nella direzione dei raggi di questo disco, delle correnti elettriche in numero abbastanza considerevole perchè questo disco divenga una nuo-*

va macchina elettrica. Noi ignoriamo del tutto com'egli abbia riconosciuto questo fatto, e non sappiamo nemmeno come un risultato di tale natura sia rimasto così lungo tempo generalmente sconosciuto, e dirò quasi dimenticato nelle mani del suo inventore. Del resto vi ha qui per noi qualche cosa di problematico, e dobbiamo prima di passar oltre riferire l'esperimento che abbiamo eseguito su questo proposito (1).

Pongasi in rotazione un disco di rame, e, preparati due lunghi fili pure di rame, si mettano da una parte in comunicazione col galvanometro, e si tengano dall'altra fissi colle mani sul disco, l'uno verso il centro e l'altro verso la circonferenza sulla direzione d'uno stesso raggio. Nella sua rotazione il disco riscalda amendue le punte di rame che vi premono contro, ma non le riscalda egualmente. La più riscaldata è la punta che preme il disco verso la circonferenza; lo è di meno l'altra che esercita la sua pressione verso il centro. Or basta questa differenza di temperatura per determinare una corrente elettrica capace di mover l'ago del galvanometro e di fissarlo sopra un certo grado della divisione dopo le consuete oscillazioni. Tranquillo che sia quell'indice, si avanzi una calamita a ferro di cavallo in modo che introdotta sul disco, questo vi giri liberamente frammezzo; e si vedrà subito nella deviazione dell'indice un aumento od una diminuzione, secondo che i poli agiranno in un senso o nell'altro. Quest'effetto è una prova sicura delle correnti che si manifestano sul disco per la presenza della calamita; ma perchè i fili congiuntivi che comunicano col galvanometro, si trovano collocati colle loro estremità sulla direzione d'un raggio del disco, diremo noi ch'egli è precisamente su questa direzione ch'esistono le correnti eccitate dal magnetismo? Noi non lo crediamo per le ragioni addotte di sopra, e quando anche dovesse col sig. Faraday ammettersi quella specie d'irradiazione di correnti, esisterebbe ancora per noi una grandissima differenza fra quel modo d'eccitare l'elettricità, e l'altro ordinario delle nostre macchine elettriche. Vi ha qui un salto da giustificare, quello che si fa nel passare da un ottimo conduttore, il disco metallico del sig. Arago, ad un pessimo, siccome è il disco di vetro delle macchine ordinarie. Del rimanente queste nostre particolari opinioni non diminuiscono di nulla il merito intrinseco della scoperta del sig. Faraday. Essa è una delle più belle del nostro tempo, sia che si consideri in sè stessa per la larga lacuna che serve a riempire, sia per i lumi che somministra alle varie teorie e specialmente a quella del magnetismo di rotazione.

(1) Vedi più innanzi, nella *Teoria fisica delle induzioni elettro-dinamiche*, il vero senso delle parole del Sig. Faraday, insieme colle ragioni che ci fanno persistere in un'opinione differente dalla sua.

Desideriamo che queste nostre prime ricerche giustifichino il vivissimo interessamento che abbiamo preso a questo nuovo ramo d'elettro-dinamica; un solo rammarico ci resta, quello d'esser entrati in una carriera prima di conoscer tutti i passi che vi avrà fatto l'illustre fisico che l'aperse.

Dal museo, 31 *Gennaio* 1832.

Digitized by Google

DESCRIZIONE
DELLE
NUOVE CALAMITE ELETTRICHE
ED OSSERVAZIONI SULLE MEDESIME

DEI SIGNORI

L. Nobili e V. Antinori

Noi abbiamo, in un precedente articolo, dichiarato il modo, col quale siamo stati condotti alla scoperta della scintilla magnetica; abbiamo eziandio data in quel luogo la succinta descrizione d'un apparecchio immaginato all'uopo d'ottenere a volontà quel bel fenomeno, ma ora ritorniamo sullo stesso soggetto pei seguenti tre motivi; 1.° per supplire al laconismo di quello scritto su ciò che riguarda la costruzione del primo apparato; 2.° per far conoscere le nuove combinazioni, che si sono ideate ed eseguite in seguito; 3.° per aggiunger in fine tutte quelle considerazioni ed osservazioni, che si legano immediatamente al soggetto, e completano in certo modo le dichiarazioni fatte prima intorno alla teorica ed alla pratica de' nuovi istrumenti.

Principio fondamentale della scintilla.

Le correnti elettriche, che si sviluppano sulle spirali metalliche per opera del magnetismo, non durano che un solo momento; ma questa loro precarissima esistenza ha luogo in due circostanze, tanto cioè nel momento in cui le spirali sentono l'azione delle calamite, quanto nell'altro in cui si sottraggono dall'influenza delle medesime. Queste due correnti, che distinguonsi col titolo di *prodotta* e di *riprodotta*, sono egualmente intense, e dall'una così bene come dall'altra può trarsi la scintilla. Si tratta in ogni caso d'aprire il circuito nel momento opportuno.

La corrente, che circola sopra un filo attaccato ai poli d'un elemento voltaico, dura fintanto che dura l'azione dell'elemento, e, purchè questa arrivi a un certo grado, si trae la scintilla dal filo congiuntivo ogni qualvolta venga esso interrotto in qualche punto della sua lunghezza. Quest'operazione si può ripetere quanto più piace, e sempre collo stesso successo, giacchè basta chiudere, dopo l'interruzione, il circuito per avere sul filo la

Digitized by Google

corrente di prima, disposta a convertirsi in scintilla al momento d'interromperla nel suo corso. Che se l'azione dell'elemento voltaico, invece d'essere d'una certa durata, fosse fugace al pari del lampo, non vi sarebbe, per avere la scintilla, un momento da perdere: bisognerebbe coglierе quello dell'esistenza della corrente, appunto come convien fare colle correnti fugacissime che produce il magnetismo. Questo è il principio, ora si apre la discussione intorno ai mezzi d'applicarlo. Per questo ci vuole necessariamente:

1.° Una spirale metallica, co' suoi capi metallicamente congiunti, per ricevere l'azione d'una calamita.

2.° Questa calamita.

3.° Un artifizio per aprire il circuito chiuso della spirale al momento opportuno.

Spirale e calamita.

Tre sono le condizioni da soddisfare per combinare i due sistemi, la spirale e la calamita, in modo che producano il massimo effetto. La prima si è che la spirale sia più che si può vicino alla calamita; la seconda che l'asse della spirale coincida con quello della calamita; la terza infine che la spirale si presenti all'azione del magnetismo o si sottragga da questo nel tempo il più breve.

Immaginiamoci un cilindro calamitato coperto di spire da un capo all'altro, ed avremo in questa disposizione soddisfatte le due prime condizioni, quella cioè della vicinanza dei due sistemi egualmente che l'altra della coincidenza degli assi. Manca invece la terza condizione la quale consiste nella possibilità di togliere tutt'a un tratto l'un sistema dalla presenza dell'altro. Si lasci pure un po' d'aria fra la spirale e la calamita per potere estrarre liberamente l'una dall'altra, e si supponga eziandio che questo vuoto non pregiudichi sensibilmente alla condizione della prossimità; tuttavia non sarà men vero che le spire o giri, di cui si compone la spirale, usciranno dal cilindro non già tutt'a un tratto e in un solo istante, ma successivamente uno dopo l'altro. A prima vista si direbbe essere questo un inconveniente senza riparo; e per verità non vi ha mezzo di superarlo sintanto che si pone in giuoco il magnetismo permanente delle calamite ordinarie. Supponiamo che il cilindro coperto della sua spirale, in cambio d'essere come dianzi d'acciaio calamitato, sia al contrario di ferro dolce, privo affatto di magnetismo. In questo stato un tale cilindro sarà sicuramente senza azione sulla spirale, che lo inviluppa; ma questa sua inazione cesserà al momento in cui esso si calamiterà in presenza di altre calamite, o si scalamiterà dopo, abbandonato di nuovo a se medesimo. Ora tutti sanno essere precisamente questa la proprietà del ferro dol-

ce, di calamitarsi cioè e scalamitarsi rapidamente; proprietà che si presenta opportuna per il caso delle nostre spirali, le quali avviluppate una volta d'intorno al ferro, vi si lasciano costantemente avvolte senza prendersi altra briga che di calamitare o scalamitare quel ferro quando piaccia di sviluppar sovr'esse la nuova specie di correnti elettriche. Nè fa d'uopo per questo ricorrere a nuove combinazioni di calamite. Si ha nelle calamite ordinarie a ferro di cavallo quasi tutto l'occorrente. Il bisogno esige un solo cangiamento nella forma ordinaria dell'ancora, la quale non trovandosi fatta per ricevere nel mezzo una spirale metallica d'un certo volume, deve ridursi a quella figura che conviensi a siffatto uffizio.

Tali sono le considerazioni che conducono a riconoscere nella parte centrale delle ancore il luogo più adattato per le spirali *magneto-elettriche* (1). Questa posizione è precisamente la medesima che indicammo nella serie delle prime nostre ricerche. Colle ragioni adotte di sopra non abbiamo in sostanza aggiunto nulla di nuovo; abbiamo unicamente illustrata la marcia che ci condusse a quella combinazione, senza della quale la scienza aspetterebbe probabilmente ancora la soluzione completa del problema di trarre la scintilla dal magnetismo.

Artifizi per aprire il circuito.

Non è assolutamente indispensabile un artifizio per avere la scintilla dalle spirali magneto-elettriche. Essa si ha, come l'avemmo noi per la prima volta, sul mercurio tuffandovi dentro le estremità della spirale, e poi sollevando l'una o l'altra al momento in cui si attacca o si distacca da una calamita la nuova sua armatura, la quale consiste, come si è detto, in una spirale avvolta intorno a un pezzo di ferro dolce. Non soddisfatti per altro d'un metodo, che mancava il più delle volte il suo scopo per la difficoltà di cogliere il momento opportuno al salto della scintilla, si pensò a un apparecchio che producesse costantemente l'effetto ed a volontà. Il primo, che riuscisse completamente, fu quello che annunciammo nel primo opuscolo delle nostre ricerche. Esso è rappresentato nella fig. 27 Tav. III. come fu immaginato ed eseguito la prima volta. Indi ha sofferto una leggera modificazione, di cui renderemo conto sotto il titolo speciale che gli spetta. Esso non dà la scintilla che al momento in

(1) Questa denominazione esprime assai bene la natura delle nuove correnti di Faraday; la scienza, non ne dubitiam punto, l'adotterà come adottò già il distintivo di *termo-elettriche* per le correnti del dott. Seebeck eccitate dal calore. Adottata per le nuove correnti l'espressione caratteristica di magneto-elettriche, si chiamerà poi *magneto-elettricismo* il ramo di fisica che tratterà di quelle correnti. Il magnetismo di rotazione del Sig. Arago formerà parte di questa branca.

Digitized by Google

cui si distacca l'ancora della calamita. Per il tempo dell'attacco ci vuole un'altra costruzione: almeno non siamo riusciti sin quì a trarre le due scintille dallo stesso meccanismo. Per verità non disperiamo ancora di questo risultato, ma vi sono delle difficoltà d'esecuzione da superare, e, dovendoci limitare per ora alla descrizione degl'ingegni che sono riusciti all'atto pratico, cominceremo da quello che dà la scintilla al momento del *distacco* dell'ancora: ne verrà in seguito l'altro dell'*attacco*.

Meccanismo del distacco.

In questo caso non si fa alcuna aggiunta o modificazione alla calamita a ferro di cavallo: si adopera così com'è, e tutto il giuoco riposa sull'ancora. Quest'ancora, fatta al solito di ferro dolce, ha la forma parallelepipeda, come si vede dalla figura 27 dove è rappresentata vestita della spirale e svestita. Si credeva in sulle prime necessario di contenere fra due guancie i ripetuti giri della spirale, e perciò vi si applicarono in *gg*, *gg*. Erano d'ottone e con due orecchie o zampe, per fissarle con viti contro le faccie dell'ancora. La spirale da avvolgersi dentro le guancie doveva avere le sue estremità isolate dall'ancora, e comunicare unicamente colla calamita quando si trovava al suo posto. Si praticarono per ciò sui fianchi dell'ancora due intagli *i*, *i* a coda di rondine, e vi si incastrarono dentro due pezzettini di avorio della stessa forma dell'intaglio, che si fecero traversare da due viti d'ottone *v*, *v*, terminate in forma di collarino per avvilupparvi d'intorno i capi della spirale. Già s'intende che la spirale era al solito coperta di filo di seta in tutta la sua lunghezza, all'eccezione di quel pochino che s'avvolgeva d'intorno al collarino delle viti *v*, *v*.

Per far poi comunicare queste estremità colla calamita, e prepararsi nello stesso tempo il giuoco della scintilla, si aggiunse, da una parte e l'altra dell'ancora, una molla d'acciaio *m*, *m*; erano queste traforate nella loro parte inferiore, collocate immediatamente sull'avorio e serratevi contro col mezzo delle viti *v*, *v*, che le traversavano. La forza delle molle non impediva all'ancora di restar attaccata vivamente alla calamita, e la loro curvatura era poi tale da non distaccarsi dalla calamita che alla distanza di due o tre linee.

La grande calamita del Museo fu la prima a ricevere quest'armatura (vedi la fig. 27). All'atto di staccarla essa dava sempre la scintilla o da una parte e dall'altra o da amendue. Che se mancava qualche volta l'effetto, ciò accadeva per colpa di chi non distaccava l'ancora abbastanza rapidamente, non mai per altra cagione.

Dopo questa montatura si sono soppresse le due guancie *gg*, *gg*. Si è invece praticata nell'ancora un'intaccatura, o

solco *xx*, *xx* (fig. 28) tale per la sua profondità da ricevere tutt'al più i due primi giri della spirale. Alloggiati questi due ordini in quell'intaglio vi si adattano sopra tutti gli altri senza pericolo che si sfascino, ogni qualvolta l'ultimo giro sia con un nodo o altrimenti tenuto fermo al suo posto.

Si è pure soppressa una delle due molle, per avere la scintilla da una sola parte. L'estremità della spirale, che comunicava colla molla soppressa, si prolunga sino ad una delle viti o briglie che tengono ordinariamente riunite le varie barre onde si compongono le calamite artificiali (fig. 28). Fissata in quel luogo, a filo lento, non trattiene l'ancora nel suo distacco. Quest'operazione si eseguisce come prima, ma non come prima il circuito si apre in due luoghi, si apre unicamente dalla parte della molla, e qui soltanto comparisce la sciutilla. Così l'osservatore non ha da fissare lo sguardo che sopra un punto solo: nè questo è l'unico vantaggio di quella semplicissima modificazione; ne procura un altro col dare una scintilla, generalmente parlando, più vigorosa.

Meccanismo dell' attacco.

Per questo caso le deviazioni del galvanometro insegnano che la corrente magneto-elettrica comincia bensì a svilupparsi sulla spirale a una certa distanza dalla calamita, ma che un tale sviluppo è sempre un piccolo effetto in confronto di quello che ha luogo al momento dell'immediato contatto. Questo è dunque, e non prima, l'istante da cogliere per aprire il circuito. Varii tentativi furono fatti in questo disegno, ma rimasero senza frutto, finchè uno corrispose all'aspettativa. Questo primo meccanismo è rappresentato nella fig. 29: esso è applicato parte all'ancora, e parte alla calamita. La montatura dell'ancora non diversifica da quella di prima se non che nella molla, la quale ha un'altra forma, ed è disposta altrove. Essa serve di prolungamento alla vite *v*, a cui è stabilmente fissata col mezzo d'una copiglia. La sua forma è ovale, quale diventa nel ripiegarsi sopra se stessa come indica la fig. 29.

Il polo superiore della calamita è guarnito d'una fascia *ff*, su cui scorre la parte mobile del meccanismo, la quale consiste in una doppia squadra *abc* che porta in *c* un pezzo bilicato *pcq* avente la forma di Z o di un S rovescio. Questo pezzo termina in due picciole palle *p*, *q*, che s'avanzano o si ritirano per registrarle in modo che il peso ecceda dal lato superiore. La sua posizione ordinaria è la verticale, dove si mantiene in grazia d'un punto d'arresto applicato al perno *c*. Non resta così alla leva *pq* altro movimento libero fuor che quello di rinculare in *p'q'*, e rinculata ritorna naturalmente al suo posto in virtù del peso eccedente in *p*.

Digitized by Google

Basta ora l'ispezione della fig. 29 per comprendere tutto il giuoco. L'ancora *ns*, prima di giungere a contatto della calamita, incontra la palla *q* colla sua molla M. Si chiude in quell'istante il circuito, e la corrente magneto-elettrica comincia a svilupparsi sulla spirale. Un momento dopo, l'ancora arriva alla calamita, e vi arriva in compagnia della palla *q*, la quale non balza dalla molla che l'istante successivo: è questo il punto che si doveva cogliere, il punto cioè della scintilla.

L'artifizio molto più semplice del distacco non esige per parte dell'ancora un meccanismo che la regoli nel suo cammino. La mano la meno esercitata basta all'uopo. Non così nel caso or ora descritto, dove l'ancora dee colla propria molla M incontrare a una certa distanza la palla *q*, ed accompagnarla in modo che non si separi da essa prima d'arrivare al contatto della calamita. Per assicurare questa condizione si fissa tutto il sistema sopra un pezzo di tavola ABCD (fig. 30) obbligando l'ancora *ns* ad un braccio di leva P che l'avanzi o la ritiri regolarmente dai poli della calamita. La fig. 31, congiunta alle due precedenti 29 e 30, dà un'idea abbastanza chiara di tutto l'apparecchio per liberarci dall'obbligo di descriverlo più minutamente.

Altre prove fatte nell'istesso senso ci hanno dimostrato che si può con successo sostituire al pezzo bilicato *pq* una molla presso che orizzontale. Questa molla si vede in M' applicata allo stesso pezzo che sostiene il conduttor mobile *pq*. Con un mezzo giro, che si fa fare a questo pezzo, si porta la molla M' in presenza della molla M dell'ancora. Nell'avanzarsi di quest'ancora verso la calamita, la molla M s'impegna sotto l'altra M' (fig. 32): restano d'allora in poi riunite fino al momento in cui l'ancora urta contro la calamita; ma in questo punto, se il colpo è, come pur debb'essere per l'effetto, violento e secco, le molle ricevono tale scossa che si separano un tantino: ora egli è per l'appunto in tale momentanea disgiunzione che comparisce la scintilla.

Per quest'effetto bisogna che la molla M' sia piuttosto dolce e pieghevole che dura e resistente. La durezza o poca flessibilità impedisce il tremito necessario alla separazione delle due molle M, M': allora invece di staccarsi un tantino al momento opportuno, le molle rimangono a contatto; il circuito non s'apre, e manca necessariamente la scintilla. È però qui da osservarsi che se le molle troppo robuste fanno mancare la scintilla del contatto, danno invece assai facilmente quella del distacco, quando abbiano la curvatura e la lunghezza necessaria all'uopo. È questo un altro ripiego da non disprezzarsi, e che meritava d'esser accennato per il buon uso che se ne può fare in alcune circostanze.

Riunione dei due meccanismi.

La vite *v* (fig. 29) può tanto portare sopra di se la molla M del secondo meccanismo, quanto contenere sotto di se la molla *m* del primo (fig. 27). Con due calamite poste di contro l'una all'altra e con una sola ancora in mezzo, si hanno quindi le due scintille senza aver bisogno di cambiare montatura. La fig. 33 rappresenta l'apparecchio di cui si parla: la calamita di sinistra dà la scintilla del distacco; la destra dà quella del contatto. Con un sol colpo di mano l'ancora passa dall'una all'altra calamita, e le due scintille si hanno per così dire in un solo tempo.

Si può anche, volendo, sopprimere del tutto la molla *m*, e fare in sua vece uso della molla M" conformemente a ciò che si è detto sulla fine del paragrafo precedente. In ogni caso l'estremità inferiore della spirale magneto-elettrica deve toccare metallicamente le due calamite.

Applicando alle due calamite le medesime appendici atte al giuoco delle due scintille si alternano gli effetti, o si combinano in modo da ottenere in un sol colpo le scintille dello stesso nome. Quando si vogliono le due scintille del contatto, si ritirano da parte le molle impegnate sotto la vite; quando si vogliono le due altre si ritirano i pezzi bilicati *pq*.

In quest'apparecchio sono sicuramente riuniti i due meccanismi, ma non è questa la riunione che si vuole, quando si chiede un solo meccanismo che dia le due scintille, l'una dopo l'altra, dalla stessa calamita. Noi avvertimmo già che avevamo pensato alla soluzione di questo problema, ma che sin qui non eravamo riusciti a ritrovarla. Con tutto ciò la rintraccieremo di nuovo sulla fiducia che c'inspira uno degli artifizi già descritti. Alludiamo alla combinazione della molla M' (fig 32), la quale dà la scintilla *del contatto* in virtù della semplice scossa che riceve nell'urto dell'ancora contro la calamita; per cui si separa un tantino dall'altra molla M. Abbiamo anche veduto che questa medesima molla dà la scintilla del distacco, ridotta che sia ad un certo grado di curvatura e di robustezza. Non resta dunque, si dirà, altro da trovare che una molla di tal forza e figura che l'un uffizio eseguisca così bene come l'altro. Or questo appunto è ciò che si cerca, senza perdere di vista certe altre combinazioni, le quali possono condurre allo stesso risultato.

Osservazioni

I. Forza delle calamite.

Non è necessario, per la scintilla, d'impiegare calamite d'

una grande energia. L'effetto con queste è certamente più sicuro e cospicuo, ma si ottiene distinto anche da calamite molto meno vigorose. L'abbiamo infatti conseguito da piccole calamite che non arrivano a sostenere la carica di quattro delle nostre libbre, equivalenti tutt'al più a $\frac{4}{5}$ d'un kilogrammo.

II. Forma della calamita.

La forma è indifferente del tutto, fuorchè nella distanza de' due poli, la quale dee pur essere tale da lasciar libero uno spazio sufficiente per la spirale dell'ancora. L'intervallo d'un pollice è un intervallo giusto. Quello di sei linee è già troppo ristretto, a meno che non si combini in un'eccellente calamita, che colla propria forza supplisca a quel difetto.

III. Riduzione dell'ancora.

Le ancore ordinarie abbracciano tutta la larghezza de' poli, se non l'oltrepassano d'un tantinn: Le nostre ancore sono invece molto più strette per lasciare il posto necessario alla molla *m* (fig. 27 e 28). Se questa riduzione pregiudicasse all'effetto, potrebbe facilmente risparmiarsi, è già, come si vede, del tutto inutile per il meccaoismo che dà la scintilla del contatto (fig. 29); per l'altra poi del distacco si supplisce con una molla M'' applicata sopra la calamita come si vede nella fig. 33. Nulla dunque, lo replichiamo, di più facile che conservare alle ancore tutta la loro larghezza, quando il restringerle fosse di pregiudizio. Ma anzi che recar danno, è cosa da notarsi, contro l'opinione comune, giova una tale riduzione all'effetto, come ci siamo accorti e persuasi nel corso di queste nnstre ricerche. All'occasione che tentammo per la prima volta l'esperimento della scintilla, ci occorreva un pezzo di ferro di forma regolare per adattarvi sopra la spirale, destinata con esso a servire d'armatura alla calamita dell'esperimento. Ce ne cadde uno sotto le mani molto più stretto dell'ancora ordinaria; ma, per vedere pure se bastava all'uopo, lo applicammo subito alla calamita, vedemmo con sorpresa, che vi restava attaccato con maggior forza che non faceva l'ancora costruita a bella posta per quell'oggetto. L'azzardo ci favorì: ne profittammo immediatamente per l'esperimento che c'interessava; non ci mancarono quindi occasioni per verificare il risultato. « Le ancore ristrette sono più efficaci di quelle che abbracciano tutta la larghezza de' poli, o l'oltrepassano ». Questa è la nuova conseguenza a cui conducono le nostre osservazioni. Noi ci limitiamo a presentarla per ora come un fatto da non perdersi di vista nella pratica egualmente che nella teoria delle armature.

IV. Forza delle correnti magneto-elettriche.

Le correnti che durano un certo tempo, come le voltaiche e le termo-elettriche, si misurano sul galvanometro a *indice fisso*, aspettando cioè che s' estinguano le oscillazioni a cui dà luogo il primo sbocco della corrente. Le correnti *istantanee*, come sono quelle della macchina elettrica, e le nuove di Faraday prodotte dal magnetismo, non danno tempo per questo genere di misura, e si valutano di necessità dall' escursione totale che fa l' indice del galvanometro al momento della loro azione. Volendosi quindi paragonare la forza d' una corrente voltaica o termo-elettrica con una della nuova specie magneto-elettrica, devesi stimare la prima allo stesso modo della seconda, vale a dire registrare l' effetto prodotto dalla prima invasione, al quale corrisponde una deviazione molto maggiore di quella, che si osserva dopo, *ad indice fisso*.

Le correnti magneto-elettriche ottenute nelle circostanze più favorevoli sono debolissime in confronto delle voltaiche eccitate dai più piccoli elementi. La cedono anche di molto alle termo-elettriche. Una corrente voltaica della forza (nel suo primo sbocco) di 30.° del nostro *galvanometro comparabile* (1) non esige per il suo sviluppo che un elemento di una o due linee di superficie. Per ottenere invece dal magnetismo una corrente di questa medesima forza di 30.° conviene impiegare una delle nostre migliori armature magneto-elettriche. La più potente, che abbiamo costruita, è quella che ora possiede il Museo. La scintilla, che se ne trae, sorprende per la sua vivacità; mentre la corrente, che si ha da quella combinazione, arriva appena ai 30.° mentovati di sopra.

Abbiamo detto nella prima osservazione che il fenomeno della scintilla non richiede l' impiego di calamite molto vigorose, e per prova si soggiunse dopo d' aver conseguito quell'effetto con una piccola calamita capace di sostener a stento un peso di quattro libbre. Ora fisseremo meglio le idee a questo riguardo, aggiungendo la misura della corrente che si sviluppa in quel caso: essa è di 5.° appena del solito comparatore. Tal corrente può considerarsi per la più piccola da cui si cavi la scintilla, come quella dei 30.° per una delle più forti. Che se fra le correnti voltaiche una di 30.° si ha, come abbiam detto, da elementi piccolissimi, s' immagini poi quanto poco ci voglia a svilupparne una di 5.°. Questi mezzi sono senza dubbio tenuissimi in confronto di quelli che conviene impiegare per ottenere lo stesso effetto dal magnetismo. Ad onta di ciò queste ultime corren-

(1) A proposito di quest' istrumento avvertiremo una volta per sempre che sarà il solo di cui farem uso per le misure di confronto. Vedi la sua descrizione, e i dettagli relativi nella *Memoria* della pag. 105.

Digitized by Google

ti, le magneto-elettriche, di così debole effetto al galvanometro, hanno sulle voltaiche un deciso sopravvento per il fenomeno della scintilla. Ci vuol altro infatti che un elemento della forza di 5.° per giungere a questo risultato: non bastano nemmeno quelli di 30, 40, 50 . . . gradi di forza. La medesima riflessione va estesa alle correnti termo-elettriche, molto efficaci al galvanometro, e nulle fin qui rispetto alla scintilla.

V. Filo delle Spirali.

Il filo da impiegarsi d'intorno alle ancore non debb' esser nè troppo sottile nè troppo grosso; non molto sottile perchè troppo perde della sua facoltà conduttrice, non molto grosso perchè insufficiente diventa il numero de' giri che si fanno con esso d'intorno all' ancora. La grossezza di un millimetro è una grossezza giusta. Con questo diametro più il numero de' giri è grande, e più l'effetto è deciso. Ad assicurarlo però basta un filo della lunghezza di otto metri ed anche meno.

A meno di non avere in vista qualche ricerca particolare, le spirali si fanno di filo di rame ricotto e coperto d'un giro di filo di seta per isolare le spire l'una dall'altra, e per impedire il contatto metallico fra queste spire e l'ancora di ferro su cui è applicato il primo ordine delle medesime. Tale isolamento basta ordinariamente per ritenere l'elettricità eccitata dal magnetismo sulla via metallica delle spire; ed allora non vi ha scintilla fuori del luogo destinato all'interruzione del circuito. Nel caso però d'eccitamenti maggiori come sono quelli operati da grandi calamite, la scintilla compare in altri luoghi, e specialmente fra le parti nude dell'ancora e i poli corrispondenti della calamita. Non si potrà forse evitare questa specie di straripamento elettrico che isolando maggiormente il filo conduttore, massime sul luogo dove si trova ad immediato contatto coll'ancora, che è il sito dell'isolamento meno perfetto. Quivi infatti la grossezza dello strato isolante si riduce a quella del filo di seta, mentre fra spira e spira questa grossezza è raddoppiata.

VI. Corrente e scintilla.

Fra questi due effetti esiste sicuramente una relazione molto intima; uno si converte nell'altro, e marciano quasi sempre di pari passo, verificandosi generalmente che dove si sviluppa maggior corrente, ivi pure scocca scintilla più vivace. Con tutto ciò bisogna qui fare una distinzione per non esser tratti in errore.

Un filo molto grosso e molto corto, come sarebbe uno grosso più di tre millimetri, e lungo meno di due metri, avviluppa-

Digitized by Google

to d'intorno ad una delle nostre ancore più efficaci, è capace di produrre una corrente di 10 e più gradi. Se questa corrente derivasse da un filo tre o quattro volte più lungo, vi sarebbe già su quel filo, più forza che non occorre per avere la scintilla. Così corto invece non scintilla per nulla. Di qui si vede che non si può ridurre di molto l'elemento della lunghezza del filo senza compromettere il fenomeno della scintilla, mentre la stessa riduzione risulta molto meno fatale alla forza delle correnti. Egli è su questi dati che deve regolarsi la pratica dei nuovi apparecchi, fintanto che tutte le misure entrino nella scienza come corollari d'una sola teoria.

VII. Natura delle correnti magneto-elettriche.

La scienza possiede ora quattro specie di correnti elettriche:

1.° Le correnti che si succhiano dalle macchine ordinarie, eccitate dal fregamento.

2.° Le voltaiche o idro-elettriche eccitate dall'azione dè conduttori umidi.

3.° Le termo-elettriche eccitate dal calore.

4.° Le magneto-elettriche infine eccitate dal magnetismo.

Queste quattro specie posseggono delle proprietà in parte comuni, in parte differenti. L'analisi di queste differenze è del massimo interesse per la scienza; lo è talmente ch'essa soltanto può somministrare gli elementi necessarj per chiarire, se non risolvere completamente, il gran problema relativo alla natura dell'elettricità. Troppo angusti sono i confini di quest' opuscolo per introdurvi un lavoro di tanta estensione ed importanza; lo conserviamo poco meno che intatto per un'altra occasione limitandoci qui ad indicar qual sia delle tre specie antiche di correnti elettriche quella che più si assomiglia alla nuova.

Indipendentemente dall'*inversione* che sembra finora un carattere particolare delle nuove correnti, queste sono *istantanee* come quelle che si traggono dalle ordinarie macchine elettriche: non basta; vi ha, fra le due specie, comune di più la facilità di convertirsi in scintilla; come anche la difficoltà d'incanalarsi per la via del galvanometro. Ecco dunque tre proprietà che si combinano sulle due specie, l'istantaneità, la facilità di scintillare, la difficoltà di farsi sentire al galvanometro. Colle correnti voltaiche, le magneto-elettriche sono già meno concordi in grazia delle differenze accennate nel paragrafo precedente. La disparità cresce ancora di più, confrontate colle termo-elettriche. Va dunque conchiuso che le correnti, le quali si avvicinano più alla natura delle nuove prodotte dal magnetismo, sono quelle delle macchine elettriche; come le termo-elettriche al contrario, le altre che se ne scostano di più. Oltre l'importanza, questo risultato contiene qualche cosa di piccante che eccita vivamente la nostra

Digitized by Google

curiosità. Concepiamo infatti assai facilmente come l'elettricità delle macchine di confricazione si costituisca in correnti piuttosto istantanee od intermittenti che continuate e durevoli. La natura della causa che le determina, il fregamento, e più ancora il passaggio che ha luogo fra due conduttori così diversi, come sono il vetro ed il metallo, rendon sufficiente ragione di quella intermittenza o fugacità d'effetti. Ma il magnetismo è pur, fra le cause che conosciamo, una delle più costanti e permanenti, e le correnti che si sviluppano da esso non hanno mai da uscir fuori della via metallica. A fronte dunque d'una causa così perenne applicata costantemente a conduttori così perfetti, come mai quelle correnti appartengono alla classe delle più fugaci ch'esistano? Sarà questo uno de' punti più scabrosi ed importanti da discutere nell'*Analisi generale delle correnti*.

Firenze dal Museo 6 Maggio 1832.

Riunione dei due meccanismi dell'attacco e distacco dell'ancora.

Mentre il presente articolo era sotto i torchi, siamo riusciti a combinare un tal giuoco di molle da ottenere con esso le due scintille dell'attacco e distacco. Queste molle sono rappresentate nella fig. 34: *sono due al solito, l'una circolare M M fissata verticalmente sull'ancora; l'altra orizzontale M'M' applicata alla calamita, ed incurvata un poco in tt' per impegnarsi sotto il punto p dell'anello M M; il qual punto porta una piccola asta verticale pp terminata in una pallottolina. La molla circolare M M è vista di faccia: ma sull'ancora è collocata di costa, e in modo da scorrere, nel movimento ordinario di* va e vieni *dell'ancora, sull'arco tt' della molla della calamita. Nel distacco dell'ancora il punto* p *dell'anello M M abbandona la molla orizzontale in t, e qui si ha la scintilla in quel tempo. Nell'attacco, il punto p arriva in t'; e qui si ha l'altra scintilla in grazia del tremito che separa un tantino le due molle, tremito, come si vede, aiutato dal sopraccarico P.*

Questo meccanismo manca rare volte al suo uffizio, e può considerarsi come una soluzione completa del problema delle due scintille. È per altro da avvertirsi che esso conviene di più alle calamite vigorose che alle deboli, dove non si può perder nulla senza compromettere l'effetto. Perchè, all'atto dell'attacco dell'ancora, il solo tremito faccia separare le due molle M M, M' M', bisogna che la pressione di queste due molle sia leggierissima, che vale quanto dire incapace di chiudere esattamente il circuito della spirale magneto-elettrica. Manca per

Digitized by Google

questo il contatto necessario: dove però si ha corrente in abbondanza, ne rimane di essa, anche dopo qualche perdita, quanto occorre per l'effetto; non così dove è scarsa la corrente; ivi ogni intoppo, ogni sottrazione diventa fatale, e sono, in tal caso, sempre da preferirsi i primi artifizi, ne' quali la condizione del contatto è molto meglio soddisfatta.

In questi ultimi tentativi ci siamo pure accorti che dalle grandi calamite si può avere la scintilla dell' attacco senza aggiunger nulla alla prima disposizione della molla m (fig. 28), sempre però che s' impieghi il meccanismo della leva P Q (fig. 31) e si dia con essa un colpo così secco e brusco che riesca a far rinculare un tantino la molla dal polo, ad onta delle forze che tendono a tenervela congiunta.

Li 20 Maggio 1832.

Digitized by Google

NUOVO

CONDENSATORE ELETTRODINAMICO

Per risolvere il problema della scintilla magnetica noi partimmo per i primi, il cav. Antinori ed io, da una proprietà o non osservata innanzi o trascurata come un accidente di nessuna o lieve importanza. La proprietà, a cui si allude, consiste nella differenza che si osserva fra i due momenti del chiudere ed aprire il circuito voltaico d'un solo elemento alla Wollaston: nel primo caso manca sempre la scintilla; nel secondo invece comparisce ogni qual volta l'elemento sia d'una forza discreta.

Questa proprietà, che ci condusse alla scoperta della scintilla magnetica, non è posta in fronte della presente notizia, per altro motivo che perchè da essa pur trae origine il nuovo condensatore.

Nella teorica italiana d'un solo fluido elettrico, questo fluido gira sopra i circuiti voltaici, a modo di qualunque circolazione che rientri in sè stessa, e quando gli si tronca tutt'a un tratto il cammino, il fluido, ch'era in giro, si condensa sul luogo dell'interruzione, e sbocca fuori nella sua forma ordinaria di scintilla. Fissiamo le idee sovra un solo elemento voltaico composto al solito di due lamine, *rame* e *zinco*, congiunte al di fuori del liquido in cui pescano, con un filo di metallo; egli è di quì che si trae la scintilla quando s'interrompe il circuito col separare in due la via del filo congiuntivo. Supponiamo che questo filo sia da principio lungo un metro, indi due, tre, quattro... Coll'allungar questo filo già si sa dalle misure galvano-metriche l'effetto che ne nasce ordinariamente: consiste questo in una leggiera diminuzione di corrente. Senza dubbio sopra fili molto sottili questa perdita non è tanto leggiera, e merita d'essere valutata, ma sopra fili di maggior grossezza si riduce a molto meno, e può, dentro certi limiti, trascurarsi impunemente. Si trovi il nostro elemento in questa condizione; ed il filo congiuntivo, breve o lungo che sia, si vedrà trascorso in ogni suo punto dalla stessa quantità di corrente. Non è questo il luogo di ricercare come la medesima sorgente d'elettricità voltaica possa mantenere una corrente eguale o presso che eguale sopra un lungo come sopra un breve circuito; ma lo è bene per riflettere che, se la corrente d'un lungo circuito è in ogni suo punto efficace come quella d'un più breve, si dovrà nell'interruzione del primo circuito ottenere una scintilla più forte che nell'interruzione del secondo, per l'evidente ragione, che il condensa-

mento di fluido, da cui nasce la scintilla, è operato nel lungo circuito da una massa d'elettricità maggiore di quella che circola sopra il più ristretto. Di qui l'idea di condensare l'elettricità voltaica con un mezzo semplicissimo, *l'allungamento del filo congiuntivo*. Si prepara per più comodo una lunga spirale di filo di rame, s'aggiunge al circuito, e ciò basta per operare il condensamento di cui si tratta.

L'efficacia di quest'appendice si riconosce subito sopra dei piccoli elementi di uno a due pollici di superficie, i quali danno la scintilla coll'aggiunta del condensatore, e non la danno senza. Io soglio fare l'esperienza nel modo seguente: attacco due corti fili ai poli, *rame* e *zinco* dell'elemento, e delle due estremità libere di questi fili ne unisco una ad uno de' capi della spirale destinata all'uffizio di condensatore, avendo l'avvertenza di fare questa giunta un poco al disotto dell'ultima estremità. Serro poscia fra le dita di una mano le due punte della spirale, tenendole parallelamente e ben vicine l'una all'altra; preso in fine coll'altra mano il capo libero del filo corto non attaccato alla spirale lo striscio or sopra l'estremità libera della spirale, ora sull'altra. Nel primo caso la spirale fa parte del circuito, e comparisce la scintilla al momento dell'interruzione; nel secondo caso la spirale vien esclusa dal circuito, e manca la scintilla.

È indifferente per l'effetto che la spirale sia attaccata al filo positivo o negativo dell'elemento. Da amendue le parti il momento dell'interruzione è accompagnato da una scintilla sensibilmente eguale. La condizione, da cui dipende quasi tutta l'efficacia del condensatore, consiste nella lunghezza del filo impiegato alla sua costruzione. La grossezza del filo vi ha poca parte, e giova molto più perdere qualche grado di forza nella corrente per soverchia lunghezza di filo, che conservare tutta la corrente a pregiudizio di quella dimensione. Si trova infatti che un elemento della forza per esempio di 50. non dà la scintilla a circuito breve, e la dà distintissima a circuito lungo, quantunque, per questa lunghezza, la corrente di 50. discenda ai 45.° o 40.° Se prima d'avere messo in evidenza questo risultato ci fosse stato proposto il problema di condensare l'elettricità degli elementi voltaici a pregiudizio della corrente che danno, avremmo probabilmente risposto che si chiedeva l'impossibile. Ora si vede la possibilità non solo della cosa, ma di più che nulla vi ha di più facile che mandarla ad effetto.

Firenze dal Museo 8 Maggio 1832.

Digitized by Google

SULLA SENSIBILITÀ

DEL

TERMO-MOLTIPLICATORE

Il termo-moltiplicatore si compone di due parti principali, d'un galvanometro cioè a due aghi sensibilissimo, e d'una pila termo-elettrica eseguita secondo il *principio delle alternative* che dichiarai la prima volta che feci conoscere quell'istrumento. Sin d'allora avvertii che il termo-moltiplicatore superava di gran lunga i più squisiti termometri, giacchè manifestava una sensibilità da quindici in venti volte maggiore di quella del termometro metallico di Breguet. La pila di quel primo termo-moltiplicatore era composta di pochi elementi e destinata più specialmente a rappresentare un termometro *di contatto* che a servire per il *calorico raggiante*. L'istrumento subì, poco dopo, un miglioramento notabile per le cure riunite del prof. Melloni e mie. Vi si aggiunse una pila costruita espressamente per l'azione del calorico raggiante, la quale, munita da una parte di uno specchio conico, ridusse l'istrumento così delicato da sentire l'influenza del calore naturale d'una persona alla distanza di venticinque a trenta piedi. Un apparecchio termoscopico di tal forza non meritava di rimanere inoperoso, e noi intraprendemmo, il prof. Melloni ed io, una serie d'esperienze i cui risultati furono resi di pubblica ragione dopo essere stati comunicati all'istituto di Francia (1). Non si trascurò in quell'occasione di paragonare il nuovo istrumento coi migliori termoscopi che si avessero, nè i risultati furono punto dubbiosi: la superiorità più decisa si sostenne in ogni caso dal lato del termo-moltiplicatore, oltre ai vantaggi particolari della sua costruzione, per cui si presta a ricerche incompatibili coll'uso dei mezzi ordinari. Non si dee per altro dissimulare una circostanza, ed è che in tali confronti la pila termo-elettrica era munita del suo specchio metallico, mentre questo mezzo di concentrazione de' raggi calorifici mancava alle palle de' termoscopi. Conoscevamo per descrizione l'etrioscopio di Leslie armato, da una parte, d'uno specchio parabolico, e destinato, come si sa, a misurare la *freschezza del Cielo*, ossia l'irraggiamento della terra verso quelle regioni vuote di materia. Per costruzione egualmente che per uffizio, l'etrioscopio veniva ad essere l'istrumento il più consimile al termo-moltiplica-

(1) *Annales de Chimie et Physique* tom. 43 ottobre 1831. Questa *memoria* è la stessa che si trova riportata alla pag. 195.

Digitized by Google

tore, ed un paragone con esso era veramente indispensabile. Sentivamo fin d'allora questo bisogno; ma la mancanza materiale dell'apparecchio di Leslie c'impedì di soddisfarlo. La necessità in somma ci fece lasciare aperta una lacuna, che intendo ora di riempire col mezzo dell'etrioscopio di questo R. Museo, il primo di cui abbia potuto disporre liberamente (1).

La sensibilità dell'etrioscopio è tale che, aperto lo specchio per l'esperienza del raffreddamento notturno, la colonna del fluido colorato ascende nel tubo 30, 40, e nelle circostanze più favorevoli per fino 50 gradi della divisione, che è millesimale. Così asserisce lo stesso Leslie, e tale è realmente il movimento che si osserva nell'etrioscopio di questo Museo.

La pila del termo-moltiplicatore, rivolta col suo specchio verso del cielo, fa scorrere all'indice magnetico uno spazio di 120 e più gradi, il quale indice si fissa poi vicinissimo ai 90.°, che è il luogo del *maximum*, il punto estremo della scala galvanometrica. Da ciò si vede che l'irraggiamento notturno è già per il termo-moltiplicatore una forza eccessiva che spinge l'indice all'estremità della scala.

Rivolgendo i due istrumenti verso sorgenti calorifiche che vadano scemando gradatamente, si arriva a un punto, in cui il fluido dell'etrioscopio resta stazionario, mentre l'indice del termo-moltiplicatore percorre ancora degli archi di 25 a 30.°. Prima di giungere a un tal segno si nota nel termo-moltiplicatore l'escursione che corrisponde a un grado dell'etrioscopio: essa è di 66.° circa; quella di mezzo grado si riduce a 44.°

La divisione dell'etrioscopio è millesimale e spaziosa al segno da prendersi facilmente a stima il mezzo grado. Il movimento d'un quarto di grado è incerto, se non del tutto insensibile. Arrestandoci dunque alla prima suddivisione avremo nell'etrioscopio due mila divisioni ben distinte fra il ghiaccio fondente e l'acqua in ebullizione. Ognuna di quelle divisioni corrisponderà per conseguenza a $\frac{1}{25}$ di grado della scala di Reaumur. Sarà questa la frazione che indicherà la sensibilità dell'etrioscopio: si dirà cioè che quest'istrumento è sensibile a $\frac{1}{25}$ di grado ottantesimale.

Un movimento di 25.° del termo-moltiplicatore passa inosservato sull'etrioscopio. Supponiamo però che invece d'essere del tutto indistinto, si vegga su quest'ultimo istrumento al segno di

(1) Questo istrumento è stato costruito a Londra dal sig. Newmann; si trova in ottimo stato per le cure del prof. Gazzeri, che lo portò seco dall'Inghilterra, e consiste, siccome è noto, in un termometro differenziale conterminato al solito da due palle, le quali si trovano sulla stessa linea verticale, l'una al disopra, l'altra al disotto. L'inferiore è coperta da un inviluppo di legno che la garantisce dall'irraggiamento; la superiore, che è la senziente, occupa il fuoco d'uno specchio parabolico forbito al di dentro, ed inverniciato al di fuori. Lo specchio porta un coperchio, che si mette o si leva come più piace.

Digitized by Google

corrispondere alla metà della frazione or ora ritrovata, essendo questa $\frac{1}{25}$ di grado, la sua metà sarà $\frac{1}{50}$. In questa supposizione, tutta a vantaggio dell'etrioscopio, avremo un cinquantesimo di grado ingrandito sul termo-moltiplicatore per modo da occupare uno spazio di 25.°, i quali, divisi a stima in due, danno 50 suddivisioni visibili per quella frazione di grado. Supposto quindi per un momento, che i gradi del galvanometro fossero percorsi in virtù d'eguali aumenti di temperatura, ciascuna di quelle 50 divisioni corrisponderebbe a $\frac{1}{50.50} = \frac{1}{2500}$ di grado reaumuriano. Ma la supposizione è tutta a pregiudizio de' primi gradi della scala, per la natura delle indicazioni galvanometriche, le quali seguono una legge così rapida da segnare l'*infinito* ai 90.°, cominciando dal *zero* sul principio della scala. In forza quindi d'una tal legge non sarà certamente una larga concessione che si farà all'istrumento, riducendo a $\frac{1}{3000}$ la frazione $\frac{1}{2500}$, che indicava la sua sensibilità, nell'erronea supposizione che ad ogni grado di deviazione corrispondesse un egual grado di forza calorifica.

Siamo già molto innanzi, ma non ancora al punto estremo della forza del termo-moltiplicatore per il nuovo sussidio ch'essa riceve da un artifizio particolare agli strumenti di quella specie. Supponiamo che il galvanometro segni un certo grado di freddo o di caldo col suo indice deviato alla *dritta* della divisione 0.° Invertiamo i fili della corrente termo-elettrica, e l'indice passa alla *sinistra* per segnare da questo lato una deviazione eguale a quella di prima. In tal modo i movimenti incerti ed equivoci divengono distinti ed apprezzabili, e così la sensibilità dell'istrumento si trova per lo meno raddoppiata, tale cioè da non valutarsi meno di $\frac{1}{6000}$ di grado, mentre era soltanto di $\frac{1}{3000}$ senza l'artifizio dell'inversione.

Il termo-moltiplicatore, che ho posto a fronte dell'etrioscopio, è il mio particolare, di cui soglio servirmi nelle ricerche le più delicate. Il galvanometro di quest'apparecchio è d'una sensibilità tale, che dubito assai di riuscire a renderla maggiore. La pila termo-elettrica parmi piuttosto suscettiva di qualche miglioramento, e penso già a sostituirgliene un'altra di maggiore effetto. Vedremo a lavoro compiuto che cosa si guadagnerà, stando fermo per ora che il termo-moltiplicatore è un istrumento sensibile a $\frac{1}{6000}$ di grado di Reaumur.

Questo risultato lascia poca speranza di pervenire, colle risorse de' termoscopi ordinari, a un così alto grado di squisitezza: la spegne anzi del tutto se bene si osservi alla natura diversa dei due istrumenti. Le palle *senzienti* dei termoscopi sono di vetro, ed il vetro per sottile che sia, non si lascia traversare dai raggi calorifici che partono da sorgenti di calore estremamente deboli. I medesimi raggi diretti sulle pile termo-elettriche non trovano sopra di queste alcun inviluppo isolante; colpiscono im-

Digitized by Google

mediatamente i due metalli ond' è composto ciascun elemento, e dove agiscono come forza elettro-motrice mettendo in giro una corrente che va al galvanometro per la via dei fili di comunicazione. In questo caso il calore è la causa primitiva; la corrente elettrica l'effetto. E quest' effetto (bisogna or dirlo con qualche insistenza) è così facile da determinarsi che non se lo crederebbe, senza riflettere che ad eccitare una corrente termo-elettrica sopra un circuito composto di due metalli differenti basta a tutto rigore riscaldare, sul luogo della loro giuntura, due sole molecole, una dell' uno, e l' altra dell' altro metallo. Le indicazioni termoscopiche dipendono tutte dallo stesso principio, da condensamento cioè o da rarefazione d' una *massa di fluido*, che ora è aria, ora spirito di vino, ora mercurio, ma sempre *massa*, ad agire efficacemente sulla quale occorre in ogni caso un tempo ed una forza immensamente maggiore che non si esige per disequilibrare termometricamente un paio di molecole. Le punte estreme degli elementi termo-elettrici, per acuminate che sieno, sono senza dubbio ben lontane dal finire in due sole particelle, pure tutto si fa chiaro insistendo sulla circostanza che i movimenti termoscopici non si determinano che in virtù di condensamento o di rarefazione di masse, grandissime sempre a fronte di quelle, su cui bisogna agire per avere dal termo-moltiplicatore le sue indicazioni. Questo è il motivo principale della superiorità del nuovo apparato; l' altro motivo, dipendente dalla natura poco permeabile del vetro, è anch' esso di non lieve momento, ma tale, per quanto ci sembra, da registrarsi in secondo luogo. Ad ogni modo bisognava dichiararli amendue per rendersi ragione dell' istrumento, e per apprendere, dalla giustificazione de' suoi effetti, a trarne tutto il partito possibile nelle diverse circostanze che si presentano.

Firenze dal Museo 11 Maggio 1832.

SOPRA VARI PUNTI

DI

MAGNETO-ELETTRICISMO

DEI SIGNORI

L. Nobili e V. Antinori

Estr. dall'Antologia N.158.

I. Somma delle correnti Magneto-elettriche.

Queste correnti appartengono alla classe delle istantanee e si misurano dall'escursione totale che l'indice del galvanometro fa all'atto in cui la corrente agisce sopra di esso. Una tale escursione esige un tempo per compiersi, ed una volta compiuta può continuare nell'istesso senso, e crescere fino a un certo segno coll'aiuto d'un'altra corrente istantanea, la quale cominci ad agire sull'indice al momento che sarebbe per retrocedere dopo la prima escursione.

Supponiamo che una data corrente istantanea produca nell'indice un movimento di 5., e che appena compiuta questa deviazione venga ad agire sull'ago una nuova corrente eguale alla prima per direzione ed energia: l'indice salirà di 4 o 5 nuovi gradi, segnando un'escursione totale di 9 a 10 per l'effetto dei due impulsi successivi.

Questo è evidente, come chiaro è parimenti che si può a dirittura ottenere la stessa deviazione di 9 in 10.° mediante l'azione d'una sola corrente più forte di ciascuna delle due impiegate poc'anzi. I due casi sono ben differenti; eppure il galvanometro non li distingue, presentando, nell'una come nell'altra circostanza, il medesimo risultato.

Di qui si vede che se il galvanometro va consultato sulla forza delle correnti, pure può nelle sue risposte restare una certa ambiguità, e venirne in errore chi non faccia le necessarie distinzioni. Toccammo altra volta questo punto delicato (pag. 2); ora lo ripigliamo per chiarirlo maggiormente coll'aggiunta delle osservazioni che ci è accaduto di fare in seguito.

Dopo d'aver messa in comunicazione col galvanometro una spirale magneto-elettrica avvolta ad una delle nostre ancore distacchiamo bruscamente quest'armatura dalla sua calamita, e notiamo sull'istrumento la deviazione che ha luogo in tale cir-

Digitized by Google

costanza. Riattaccata l'ancora, distacchiamola di nuovo, non più bruscamente come dianzi, ma più lentamente strisciandola sui poli a cui era attaccata. Il galvanometro segnerà a un dipresso la deviazione di prima. Ne'due modi di distacco, l'effetto galvanometrico è dunque il medesimo, eppure le correnti che si hanno nei due casi godono di proprietà differenti. La corrente eccitata dal distacco brusco è più istantanea e capace di produrre la scintilla; la corrente prodotta dal distacco meno rapido è all'opposto più continuata, ed incapace di convertirsi in scintilla. Qualunque sia il modo con cui si succedono gl'impulsi che costituiscono ciò che chiamiamo *corrente elettrica*, si potrà dunque conchiudere che tali impulsi si sommano per gli effetti galvanometrici, e non si sommano per la scintilla. Questa conseguenza acquisterà un nuovo lume dal seguente esempio tratto dai quattro esperimenti che si possono fare con una spirale dinanzi al polo d'una calamita.

Supponiamo per semplicità che la spirale abbia la forma di un anello. Quest'anello avrà due faccie che designeremo colle lettere D, S iniziali delle due parole *destra* e *sinistra*. Quando si avvicina la faccia D al polo magnetico, si produce sul filo una corrente che va per un dato verso, e che contrassegneremo col simbolo + C. Quando si allontana dalla calamita la stessa faccia D, si riproduce la corrente contraria — C. Sottoponendo adesso all'azione del magnetismo l'altra faccia S, si ottengono gli effetti inversi, cioè all'atto della presentazione una corrente prodotta colla direzione — C, ed all'atto dell'allontanamento la corrente riprodotta + C. Ecco dunque in che consistono i risultati che si ottengono dalle quattro combinazioni.

Faccia D	Corrente prodotta	+ C
	Corrente riprodotta	— C
Faccia S	Corrente prodotta	— C
	Corrente riprodotta	+ C

Da ciò si vede ben chiaro che la corrente riprodotta — C della faccia D avendo la medesima direzione della corrente prodotta — C della faccia S, si riuscirà a sommarla con quest'ultima operando nel modo conveniente dinanzi al polo magnetico. Il qual modo consiste nell'allontanar prima la faccia D per presentar dopo la faccia S, rovesciato l'anello in quest'intervallo. Se ciascuna delle quattro correnti è per esempio della forza di 5.°, operando come si è detto, se ne sommano due che producono al galvanometro una deviazione di 9 a 10.° Non così l'una all'altra s'unisce per raddoppiare l'effetto della scintilla, la quale o non si ha punto nell'istesso caso, o quella unicamente si ha che corrisponde all'azione d'una sola corrente.

II. Scintilla magnetica a circuito aperto.

Dopo d'avere ottenuta la scintilla dalle calamite ordinarie aprendo, al momento opportuno, il circuito delle spirali magneto-elettriche, abbiamo tentato d'ottenere lo stesso fenomeno *a circuito aperto*. Avevamo già montata una grossa calamita nel modo il più conveniente per avere a piacimento le due scintille dell'attacco e distacco dell'ancora, e fu con tale apparecchio che si fecero i nuovi tentativi. L'ancora applicata ad un movimento di *va e vieni*, conforme a quello che si descrisse in un altro articolo, presentava all'esperimentatore tutta la facilità per operare nelle circostanze più favorevoli. (Vedi le fig. 29, 30 e 31).

La forza dell'apparato, misurata al *galvanometro comparabile*, era di 25 a 26.°, ed immancabili sempre erano le scintille dell'attacco e distacco dell'aocora, e visibilissime sempre in pieno giorno non diversamente da quelle che si traggono dalle macchine elettriche.

Tirate a parte le molle del meccanismo per operare a circuito aperto, si disposero le estremità della spirale magneto-elettrica in modo che si guardassero l'una l'altra, e fossero separate da un picciolissimo intervallo. Si fece buio nella stanza, e si cominciò il solito giuoco del distacco e dell'attacco per veder se compariva luce fra le due punte. Non ne apparì mai la benchè più debole traccia.

Poteva darsi che l'aria frapposta fosse, nella sua qualità di mezzo isolante, un ostacolo troppo forte al passaggio della luce elettrica. Si portarono le punte della spirale dentro una campana pneumatica: si fece il vuoto, e ripetuto più e più volte l'esperimento non si ottenne, nemmeno in questa circostanza, luce di sorte alcuna.

In questi esperimenti il filo della spirale era coperto, come si suole, d'un semplice filo di seta. Sul timore che tale isolamento non bastasse in un fenomeno di *tensione elettrica* come diveniva quello di cui si trattava, si preparò a bella posta un filo vestito prima di seta, a cui poscia si fuse intorno uno strato di cera per isolarlo perfettamente. Avanti d'avvolgere questo filo d'intorno alla parte centrale dell'aucora, si coperse questa parte con una striscia di taffetà, e fu poi sopra di quest'incerato che si applicò la spirale. Toccando col ventre di questa spirale un elettrometro a paglie, divergenti per elettricità ricevuta, tale divergenza scemava di ben poco, il che provava che l'isolamento delle spire era tale, quale poteva desiderarsi. Ad onta di queste cure il risultato non fu più felice di prima; mancò sempre, e nel pieno e nel vuoto, la luce elettrica fra le punte della spirale.

Caso particolare del sig. Faraday.

Il primo annunzio che si ebbe della scoperta del sig. Faraday diceva che questo celebre fisico aveva ottenuta *una scintilla in un caso particolare*. Ora sappiamo dall'estratto della prima memoria del sig. Faraday, inserito nell'ultimo fascicolo della *Biblioteca universale*, in che consista questo caso. Il sig. Faraday ha preso un grosso anello di ferro, ch'egli ha coperto di due sistemi di spirali A, B divisi da un intervallo di mezzo pollice circa, e per modo che il primo A occupasse una metà dell'anello, e il secondo B il rimanente. Le spirali A, messe in comunicazione coi poli d'una pila erano destinate a calamitare temporariamente l'anello di ferro; la spirale B, disposta colle sue estremità a picciolissima distanza l'una dall'altra, era invece destinata a sentire l'influenza del magnetismo eccitato nell'anello. Le estremità, di cui si parla, non erano precisamente quelle dei due capi della spirale; erano due punte di carbone aggiunte a questi capi, e da quelle punte poi (così dice l'estratto) usciva una debole scintilla al momento in cui si sospendeva l'azione della pila, o si rimetteva (1).

Varie sono le reflessioni da farsi intorno a questa disposizione. Primieramente deve osservarsi, che la scintilla, ottenuta a quel modo, verrebbe non già direttamente dal magnetismo delle calamite ordinarie, ma indirettamente da quello che le correnti voltaiche sono in grado d'eccitare sul ferro dolce: sicchè, ammesso anche il fatto senza eccezione, non si sarebbe con esso riempiuta la lacuna più importante, restando sempre da scoprire il modo di trarre a dirittura la scintilla del magnetismo ordinario senza il concorso dell'elettricità.

In secondo luogo è da avvertirsi, che quella luce si manifestava *a circuito aperto*, fra le punte cioè di carbone aggiunte ai capi della spirale; mentre noi non avevamo mai potuto ottener nella medesima circostanza il più tenue barlume di luce, sia operando nel pieno, sia operando nel vuoto. È bensì vero che non erano mai state da noi impiegate le punte di carbone, ma questa mancanza anzi che diminuire di forza avvalorava i nostri risultati. Il carbone appartiene di certo alla classe de'buoni conduttori, ma fra questi è ben lontano dal figurare fra i primi; si trova invece alla coda, qualunque cura si prenda nello sceglierlo e nel prepararlo. De'pezzetti di ottimo carbone introdotti ne'circuiti delle nostre armature o fanno mancare totalmente il fenomeno della scintilla, o l'indeboliscono nel modo il più notabile (2) L'armatura magneto-elettrica, che si trova

(1) *Bibl. Univ.* Cahier d'Avril 1832 pag. 348.

(2) L'acido nitrico e muriatico introdotti nel circuito indeboliscono l'effetto molto meno che non fa il carbone. Anche l'acido solforico diluito vel meglio di quest'ultima sostanza. Per più motivi sarà utile per la scienza di fissare il potere

ora applicata alla grossa calamita del Museo, dà al galvanometro comparabile una corrente della forza di 25 a 26.° Questa corrente si riduce a soli 5.° coll'introdurre nel suo circuito un fuscellino di carbone della lunghezza di sei linee. Una sola linea di questa sostanza basta per far soffrire alla corrente una perdita enorme, poichè dai 25 ai 26.° la fa discendere sino ai 9.°

Passeremo in terzo luogo a notare il risultato che abbiamo ottenuto esperimentando l'anello del sig. Faraday prima colle punte di carbone, indi senza, che secondo noi è disposizione più vantaggiosa. Sì nell'uno come nell'altro caso non ci è mai avvenuto di veder luce fra le punte separate della spirale magneto-elettrica. Cinque sono gli esperimenti che abbiamo eseguito sopra l'anello del sig. Faraday, vestito alla sua maniera, e fatto della grandezza e grossezza indicate nell'estratto della sua memoria. Nel primo esperimento abbiamo impiegato una pila di 14 elementi; nel secondo un solo grande elemento alla Wollaston d'un piede e mezzo quadrato di superficie; nel terzo una pila di sedici elementi; nel quarto e quinto una pila di trenta elementi. La grandezza degli elementi delle pile fu in ogni caso la medesima, vale a dire di 14 pollici quadrati di superficie. Si misurò la forza della corrente magneto-elettrica eccitata dalle due prime combinazioni, ed una tal forza risultò di 90.° circa del nostro *galvanometro comparabile*, tanto nel caso della pila di 14 elementi, quanto nell'altro del solo grande elemento alla Wollaston. Questa forza di 90.° sorpassa di molto quella di 25 a 30.° che si ha dalle nostre armature magneto-elettriche, ed appena noi l'avemmo misurata, speravamo di vedere senza difficoltà la luce annunziata dal sig. Faraday, ad onta che la disposizione del circuito aperto non ci avesse mai condotto a questo risultato. Il fatto non rispose all'aspettativa: non comparve mai luce nell'intervallo aperto dalla spirale, e solamente questa luce apparì, quando, chiuso prima il *circuito metallico*, lo aprivamo al momento opportuno, all'atto stesso cioè in cui la pila cominciava o cessava d'agire sull'anello. Ed è pur da notarsi intorno a questa luce ottenuta nel modo consueto, ch'essa mancava quando s'introducevano nel circuito le punte di carbone, e si tentava d'averla fra queste punte all'atto di separarle nel momento opportuno. Per rinnovare l'effetto ci convenne sempre sopprimere quelle punte poco conduttrici ed operare al solito sul nudo metallo. Nè la scintilla, che si osservava in tal caso, era più brillante e voluminosa di quella che si trae dalle nostre armature magneto-elettriche: era invece più debole malgrado la superiorità della forza della corrente da cui derivava, novella prova da registrarsi accanto alle osservazioni del paragra-

conduttore delle varie sostanze rapporto alle nuove correnti. Noi cercheremo d'occuparci di questo lavoro tosto che il tempo ce lo permetterà.

fo precedente, relativamente agli errori in cui si può cadere ritenendo che abbia a verificarsi generalmente il principio, che le correnti magneto-elettriche più forti danno le più grosse scintille.

Dopo l'esposizione di questi risultati noi verremo ad una di queste tre conclusioni:

1.° O che il sig. Faraday ha impiegato delle forze di gran lunga superiori a quelle di cui ci siamo serviti noi nel ripetere il suo esperimento (1):

2.° O che la luce da lui osservata proveniva da straniera sorgente, dall'elettricità cioè della pila che straripava dalla spirale A sulla spirale B, all'atto di sospendere l'azione del circuito, straripamento che accade anche nelle nostre armature magneto-elettriche, e da cui l'esperimentatore non è abbastanza garantito dall'osservare che la corrente voltaica, incanalata sulla spirale A, non passa per l'altra B avvolta sullo stesso anello, essendo il più imperfetto isolamento sufficiente a ritenere le correnti voltaiche sulla via metallica de' fili congiuntivi, mentre lo stesso isolamento non vale più al momento, in cui interrompendo il circuito la corrente acquista repentinamente una *tensione* così grande da uscire fuori de' ripari che la contenevano prima senza alcuna difficoltà (pag. 228).

3.° O che il sig. Faraday, invece d'operare a *circuito aperto*, operava realmente a *circuito chiuso*, il quale si apriva al momento opportuno in grazia di qualche tremito o scossa accidentale che riceveva la sua disposizione nel punto di far agire la pila o di sospenderne l'azione. A noi è avvenuto più volte questo caso; ed anzi, la prima volta che ci accadde, credemmo realmente doversi aggiungere questa combinazione all'altra del circuito chiuso, che avevamo scoperta molto prima.

Non dubitiamo punto che i fisici e lo stesso sig. Faraday interpreteranno queste nostre osservazioni nel vero loro senso. Si tratta di verificare un fatto, anzi un principio, e noi non dovevamo ometter nulla di ciò che può servire a schiarimento d'una questione che deve pur risolversi in un modo o nell'altro per i futuri progressi della scienza.

Questa poi sarà la sola risposta che indirizzeremo a coloro, i quali, contrastandoci la sorte d'avere scoperta la scintilla del magnetismo, non temono d'asserire che noi abbiamo ottenuto questo bel fenomeno *seguendo l'esempio del sig. Faraday*. Fin dal momento, in cui incominciammo ad occuparci delle nuove correnti, esternammo il rammarico d'essere entrati in una carriera prima di conoscere tutti i passi che poteva aver fatto in essa

(1) Non appare dall'*estratto* che il sig. Faraday abbia impiegate delle forze straordinarie: la pila più forte, di cui si faccia menzione nelle sue esperienze, sembra di cento piccoli elementi di quattro pollici quadrati di superficie (luogo citato pag. 347, 348.)

l'illustre fisico che l'aperse (pag. 218). Ora amiamo di ripetere qui le stesse parole, aggiungendo solamente in via di compenso, che l'ignoranza di que' passi, più che pregiudicievole, fu forse vantaggiosa alla scienza. Conoscendo le traccie del cammino battuto dal sig. Faraday, le avremmo probabilmente seguite nelle nostre ricerche, senza pensare ad aprirci una nuova via che conducesse direttamente allo scopo, scoprendoci il punto di vista da cui si doveva partire per risolvere il problema delle scintille magnetiche.

III. Magnetismo terrestre.

Le prime spirali, ch'esponemmo alla forza elettro-motrice del magnetismo terrestre, ci presentarono de' segni distinti di quest' azione, e c' invogliarono a progredire innanzi intraprendendo un corso d' esperienze ideate sopra una scala piuttosto estesa, giacchè si trattava di spingere le prove a spirali del diametro di 10 a 12 piedi, avvolte sopra gran cerchi o tamburi fatti espressamente.

Tre sono gli elementi da considerarsi nelle spirali elettro-dinamiche; 1.° la grossezza del filo; 2.° la larghezza o diametro delle spire; 3.° infine il numero di queste spire dipendente dalla lunghezza del filo impiegato.

Noi abbiamo esaminato uno ad uno questi elementi, ed i risultati che abbiamo ottenuti, sono registrati in un quadro generale, ch' esporremo a momenti, non dovendo premettere che poche parole intorno al modo d' eseguire questo genere d' esperimenti.

Il metodo è semplicissimo: esso consiste in una sola operazione che è di rovesciare le spirali dopo d' averle collocate col proprio asse parallelamente all' ago d' inclinazione. Abbiamo veduto nel primo paragrafo di questo scritto ciò che accade ad una spirale, in forma d' anello, che si toglie dall'influenza di un polo magnetico per ritornare a subire la stessa azione dal lato opposto, dopo d' averlo rovesciato. È questo per appunto il caso delle nostre esperienze sul magnetismo terrestre. Il piano delle spirali guarda precisamente il polo Nord, dal momento che l' asse delle spire è parallelo all' ago d' inclinazione, e quel piano, capovolto nel rovesciamento del sistema, si toglie prima dall' influenza del magnetismo terrestre, indi vi ritorna colla faccia opposta rinnovando sopra di sè l' accidente di due correnti che vanno per lo stesso verso, e si sommano al galvanometro, come si dichiarò nel paragrafo citato.

Le deviazioni, che si ottengono operando in tal guisa, appartengono dunque allo sviluppo di due correnti, l' una delle quali è la *riprodotta* che risulta dal togliere la spirale dall' influenza del magnetismo terrestre, l' altro la *prodotta* che si svi-

luppa sulla spirale allorchè essa ritorna, rovesciata, a risentire l'azione dello stesso magnetismo. Per aver distinto l'un effetto dall'altro basta dividere in due tempi il mezzo giro di 180.°, che le spirali fanno nel rovesciarsi completamente. Nel primo tempo si fa fare alle spirali un solo quarto di giro, e si ha in questo movimento l'effetto della corrente *riprodotta*; quello poi della corrente *prodotta* si ha compiendo il secondo quarto di giro in un altro tempo. Le deviazioni galvanometriche, che spettano a ciascuna delle due correnti, sono la metà circa di quelle che si hanno dal rovesciamento totale eseguito in un solo tempo.

Sinchè si tratta di spirali d'un diametro discreto, le sperienze si fanno con molta facilità. Col crescere del diametro conviene adattare le spirali d'intorno a dei tamburi o gran cerchi sostenuti convenientemente, e le sperienze allora divengono incomode per la difficoltà di maneggiare con prontezza de' sistemi così voluminosi. Ad ogni modo i risultati, che si ottengono, possono considerarsi abbastanza giusti per una prima approssimazione.

Ci siamo serviti di due galvanometri per la misura delle correnti, l'uno sensibilissimo a due aghi, *quello del termo-moltiplicatore*, per le piccole spirali, l'altro molto meno delicato ad un ago solo, il *comparabile*, per le spirali più grandi. L'effetto misurato è quello che si ha dal totale rovesciamento delle spirali; essendo quest'effetto doppio di quello che spetta a ciascuna delle due correnti che si sviluppano in quella circostanza, basterà dimezzarlo per avere la misura d'una sola di queste correnti.

Dopo questi preliminari ecco il quadro dei risultati ottenuti.

Digitized by Google

QUADRO GENERALE DEI RISULTATI

GROSSEZZA DEL FILO						DIAMETRO DELLE SPIRALI						NUMERO DELLE SPIRE					
Filo di Rame		*Spirale*		*Deviazioni al Galvanometro*		*Fili di rame*		*Spirale*		*Deviazioni al galvanometro*		*Fili di rame*		*Spirale*		*Deviazioni al galvanometro*	
Gross.	Lung.	Diam.	N.° delle Spire	del Termo-moltip.	comparabile	Gross.	Lung.	Diam.	N.° delle Spire	del Termo-moltip.	comparabile	Gross.	Lung.	Diam.	N.° delle Spire	del Termo-moltip.	comparabile
linee	piedi	pollici				linee	piedi	pollici				linee	piedi	pollici			
$\frac{1}{4}$				2°									22		5	5°	
$\frac{1}{3}$	120	2	225	4		$\frac{3}{4}$	320	17	71	14°		$\frac{1}{2}$	44	17	10	11	
								39	31	30			66		17	14 $\frac{1}{2}$	
$\frac{1}{2}$				10				61	20	50							
												$\frac{3}{4}$	155	17	35	55	
													310		70	73	
1	165	126	5		6°	1	165	63	10		2°						
1 $\frac{3}{4}$					9			126	5		6				10		2
												1	165	63	20		3 $\frac{1}{2}$
								63	20				330		30		4
1	330	126	10		7°	1	330	126	10		3 $\frac{1}{2}$		495				
1 $\frac{3}{4}$					14						7				5		6
													165	126	10		7
												1	330		15		8
1					8	1	495	63	30		4		495				
1 $\frac{3}{4}$	495	126	15		17			126	15		8						
													165		5		9
													330		10		14
												1 $\frac{3}{4}$	495	126	15		17
													660		20		18 $\frac{1}{2}$
													825		25		20
													990		30		20 $\frac{1}{2}$

Questo quadro, come si vede, è diviso in tre compartimenti o tavole che contengono i resultati relativi ai tre elementi delle spirali, grossezza del filo, diametro, e numero delle spire.

Dalla prima tavola, relativa alla grossezza del filo, si vede che le correnti crescono con questa grossezza e crescono notabilmente. Prescindendo dai primi risultati, che seguono una legge più rapida, può ritenersi che fra i limiti di mezza linea a due linee, le correnti crescono più del doppio sulla doppia grossezza.

Dal più al meno era questo un risultato da aspettarsi: non così quello posto in evidenza dalla seconda tavola, dove si vede che le correnti si raddoppiano al raddoppiarsi del diametro delle spire, rimanendo costanti gli altri due elementi della grossezza e lunghezza del filo. Il magnetismo terrestre è sicuramente sparso da per tutto, e la sua intensità resta pure la medesima in tutti i punti occupati dalle spirali, grandi o piccole ch'esse sieno. D'onde vien dunque il grande aumento che ha luogo nell'effetto per la circostanza del solo allargamento delle spire? Non lo sappiamo, o lo sappiamo troppo imperfettamente per non aggiunger parola a questo riguardo.

Passando in fine alla terza parte relativa al numero delle spire, si vede che la corrente cresce bensì con questo numero, ma che la legge degli aumenti cala così rapidamente da divenire insensibile, passato un certo segno. Nel caso per esempio del filo più grosso di $\frac{3}{4}$ di linea di diametro si ha da una spirale di 25 giri una corrente di 20.°; l'aggiunta di 5 giri aumenta l'effetto d'un $\frac{1}{4}$ grado appena.

Più che sul numero di spire convien dunque, per l'ingrandimento degli effetti, contare sopra gli altri due elementi, grossezza del filo e diametro delle spire. Il risultato più forte de' nostri esperimenti è quello di 20 a 21.° avuto da una spirale di 25 a 30 giri avvolti d'intorno a un gran cerchio di dieci piedi e mezzo di diametro, che si era imperniato sopra due sostegni per poterlo rovesciare con facilità. Il risultato dei 20.° comprende l'effetto delle due correnti *riprodotta* e *prodotta* che si determinano nel caso del rovesciamento totale, e si sommano come si dichiarò al principio del paragrafo; l'effetto d'una sola delle due correnti risponde a più di 10.° In altro lavoro avvertimmo già d'aver ottenuta la scintilla da combinazioni magneto-elettriche della sola forza di 5.° (pag. 227). Poteva quindi credersi d'avere in una forza superiore a 10.° più che non fosse occorso per l'effetto. Tentato per altro l'esperimento, non riuscì, sia per la mancanza della rapidità necessaria nel rovesciamento del gran cerchio di dieci piedi e mezzo, sia per la difficoltà d'aprire il circuito al momento opportuno, eseguendosi a mano e l'una e l'altra operazione.

Sarebbe un bel vedere escire la luce elettrica dal semplice

rovesciamento d'una spirale in mezzo allo spazio! La cosa non è solamente possibile; è poco meno che assicurata dai risultati a cui siamo pervenuti. A quel che pare, non rimangono che delle difficoltà d'esecuzione da superare.

IV. Effetti fisiologici.

Nell estratto della memoria del sig. Faraday si legge, che tutti i tentativi fatti per ottenere dalle correnti magneto-elettriche degli effetti fisiologici sia sulla lingua sia sulla rana, furono senza risultato, quantunque si fossero prese tutte le precauzioni per farli riuscire. Si aggiunge in seguito che nel ripetere le esperienze con una calamita naturale della forza di 30 libbre si pervenne a determinare delle convulsioni nella rana . . . . (1). Questa difficoltà ci sorprende: noi ottenemmo ed otteniamo sempre le contrazioni della rana, preparata alla solita maniera del Galvani; con piccolissime calamite di qualunque specie si sieno, naturali od artificiali. Una calamita capace di sostenere poche oncie di peso basta all'uopo. Quella di cui ci serviamo ordinariamente, ha la forma d'un piccolo ferro da cavallo; i suoi poli sono molto vicini, distanti cioè appena tre linee, ed essa non pesa più di tre oncie compresa la sua ancoretta. La spirale è avvolta a due poli: si mette la rana nel circuito, e all'atto dell'attacco o distacco della piccola ancora, non mancano mai le convulsioni sopra quell'animale preparato di fresco.

Rispetto all'effetto fisiologico sulla lingua deve avvertirsi che, se esso è dovuto, come par certo, alla decomposizione degli umori di quest'organo, non potrà determinarsi che nel caso in cui abbiano luogo tali decomposizioni. Sotto questo punto di vista la sensazione sulla lingua è un fenomeno da registrarsi accanto agli effetti chimici, e per ottenerlo bisognerà aspettare d'avere ottenuti questi ultimi.

V. Tensione elettrica.

I primi tentativi che facemmo per ottener segni di questa tensione, sia col mezzo degli elettroscopi più delicati, sia coll'uso dello stesso condensatore di Volta, furono infruttuosi. Abbiamo in seguito rinnovato i nostri tentativi ma con successo non più soddisfacente di prima. Il sig. Faraday aveva pur egli fatto delle ricerche nell'istesso senso ma senza riuscire meglio di noi. Ad onta di tanti risultati negativi ci guarderemo bene dal supporre che non esista lo *stato di tensione* nel modo d'eccitare l'elettricità col mezzo del magnetismo. Non si saprebbe infatti, nello stato attuale delle nostre cognizioni, immaginare una corrente

(1) *Bibl. Univ.* Cahier d'Avril 1832 pag. 356.

elettrica sopra un circuito senza un precedente effetto di tensione. Rimane piuttosto da cercare il motivo per cui, supposta la tensione, mancano i soliti segni che le corrispondono.

Due sono i motivi per cui possono mancare i segni elettrometrici; il primo per essere l'elettricità eccitata troppo debole, il secondo per essere quest'eccitamento, intenso quanto basta, ma fugace al segno da non comunicarsi all'elettrometro. Il primo caso è per se stesso evidente; l'altro poi lo diventa egualmente col mezzo d'un'osservazione delle più semplici. Si passi un corpo bene elettrizzato al disopra d'un elettroscopio, e le foglie d'oro non divergeranno punto, se quel passaggio venga effettuato con molta rapidità. Perchè si aprano, è necessario che il corpo elettrizzato resti un tantino in presenza dell'istramento: se vi resta un tempo più breve, l'etrioscopio non ne sente l'azione, e tace come se il corpo avvicinatogli fosse stato privo affatto d'elettricità.

Ciò posto esaminiamo prima la forza dell'eccitamento elettrico prodotto dal magnetismo entro il filo delle spirali, e la riscontreremo, se non debole, poco almeno potente, perchè non ne esce la sciutilla a circuito aperto, come si dichiarò nel paragrafo II.

Passando in seguito alla durata dello stesso eccitamento, la troveremo brevissima, giacchè se in uno de' casi tutto l'effetto ha luogo nell'affacciarsi della spirale alla calamita, convien supporre che succeda altrettanto nell'allontanarsi; in guisa tale che stato di tensione e stato di corrente duri complessivamente un tempo incommensurabile per la sua brevità (1).

Non par dunque che abbia a rintracciarsi altrove la causa per cui non riescono i tentativi sopra la tensione: consisterà essa nella troppo breve durata di quello stato, piuttosto che nella debolezza della tensione medesima, la quale alla fine non si potrebbe presumer minore di quella d'un elemento voltaico, da cui si trae una corrente capace di convertirsi in scintilla all'atto dell'interruzione del circuito, come si verifica sulle spirali magneto-elettriche.

Del rimanente basta il solo fenomeno della scintilla per dimostrare sino a qual alto grado di tensione può salire l'elettricità eccitata dal magnetismo. Egli è vero che quella non è la *tensione primitiva*, da cui trae origine la corrente; ma in ogni modo è tensione, e poichè questa esiste nel caso dell'interruzione del circuito, non saprebbe negarsi la sua esistenza a circuito aperto, sebbene in un grado molto più debole, ed in modo sempre, per la sua fugacità, da non farsi sentire all'elettrometro.

(1) Questo punto è trattato più distesamente nel paragrafo seguente.

VI. Stato elettro-tonico.

Che accade egli al filo delle spirali durante quel tempo ch' esse si conservano in presenza delle calamite (1)? Il galvanometro non dà in tutto quel tempo alcun segno di corrente; nè il sig. Faraday è riuscito a scoprire in que' sistemi alcuna traccia benchè piccola d' elettricità di tensione, impiegando in ciò gli elettroscopi più delicati.

I nostri esperimenti lasciano la questione allo stesso punto: non così il ragionamento, il quale ci fa fare in essa un passo che ci sembra interessante, conducendoci alla conseguenza che non debb' esservi realmente nè tensione nè corrente elettrica, per tutto il tempo che i fili metallici soggiornano in faccia del magnetismo. Dal momento infatti che i due punti estremi di quest' intervallo, il *principio* e la *fine*, sono segnati da due correnti d' *egual forza* e *contrarie*, bisogna necessariamente che il tempo compreso fra i due opposti ed eguali effetti scorra senza l' uno e senza l' altro. E ciò che il principio della ragion sufficiente giustifica per il fenomeno delle correnti, s' estende per forza d' analogia alla *tensione*, che deve precedere le due correnti. La tensione da cui trae origine la prima corrente, la prodotta, non esisteva prima del presentarsi del filo metallico alla calamita; si determina in questo punto, e non resta un momento solo sospesa nel suo esercizio, essendo immediatamente susseguita da una corrente che va per un dato verso. All' atto dell' allontanarsi della spirale dalla calamita non succede altro che il fenomeno inverso. Inversa dunque sarà in questo caso la tensione ma istantanea come la prima, e siccome questa nasceva per la sola circostanza dell' affacciarsi del filo alla calamita, così nascerà l' altra per la sola circostanza dell' allontanarsi.

Esporremo fra poco l' idea che ci siamo formati dello stato elettro-tonico; ma prima crediamo conveniente di passare a rapida rivista que' pochi fatti, che potrebbero a primo aspetto supporsi avere una tal qual analogia con quello di cui si tratta. I fatti a cui alludiamo, sono di due specie; l' uno ci è somministrato dalla rana, gli altri dai conduttori metallici, e circuiti voltaici. Cominciamo da questi ultimi.

Fili conduttori.

I fili metallici che hanno servito a condurre sia l' elettricità delle macchine ordinarie, sia le correnti termo-elettriche, non

(1) Il sig. Faraday chiamò *elettro-tonico* il nuovo stato, in cui supponeva da principio che si costituisse la materia in tale circostanza (*Bibl. Univ.* Avril. 1832 pag. 357). Egli osservò in seguito che i fatti non conducevano necessariamente all' idea di quel nuovo stato. Le sue ragioni ci sembrano giustissime, con tuttociò si lascia sussistere questo *numero* per le idee d' associazione che contiene.

Digitized by Google

conservano sopra di sè alcuna traccia del passaggio al quale furono esposti. I fili congiuntivi degli apparecchi voltaici non sono in questo differenti dagli altri conduttori metallici. Nelle sole parti, in cui detti fili si fanno pescare nei liquidi del circuito, soffrono essi un' alterazione, la quale dura più o meno anche dopo l' immersione, e per cui quelle parti immerse acquistano una forza elettro-motrice differente dalla primitiva. L' alterazione di cui si parla, è superficiale, e nasce dal modo col quale le correnti voltaiche decompongono i liquidi ch' esse traversano, separandone gli elementi elettro-positivi dagli elettro-negativi e trasportando ciascuna specie al suo polo rispettivo, dove agiscono chimicamente o si distendono in veli più o meno visibili secondo la natura delle sostanze. È questo un risultato generale che l' analisi delle *apparenze elettro-chimiche*, scoperte da uno di noi, rende evidentissimo, e che liberando il fisico dalla necessità di ricorrere a forze ignote, dà piena ragione delle pile secondarie di Ritter, non che di tutti gli altri fenomeni dipendenti dallo stesso principio (1).

Dopo dunque d' avere ricordato ciò che accade sopra i fili voltaici, nelle parti immerse ne' liquidi e fuori, quale analogia troveremo noi fra questi due casi e lo stato elettro-tonico? Nessuna per quanto ci pare: non nelle parti immerse, perchè alterate in questo luogo da un gioco chimico, dalla presenza cioè di nuove sostanze, che non esistono nel caso de' circuiti interamente metallici delle spirali magneto-elettriche: non nelle parti esistenti fuori del liquido, perchè esplorate cogli scandagli galvanometrici fanno vedere che appena esse si tolgono dal circuito, cessa su di loro la primitiva corrente, e cessa interamente, senza dar luogo allo sviluppo di verun' altra corrente, come pur dovrebbe accadere, se la corrente che percorreva prima quel filo avesse indotto dentro di esso uno stato in qualche maniera analogo all' elettro-tonico di cui si tratta.

Rana.

È noto da una delle antiche esperienze di Volta che la rana stata per lungo tempo esposta all' azione d' una pila, non si

(1) Il sig. De la-Rive era stato, da certe sue esperienze, indotto ad ammettere che l' alterazione, che soffrono i conduttori metallici entro i liquidi in cui pescano, si estendesse al di fuori delle parti immerse, e sviluppasse quivi un nuovo *potere* da lui chiamato *elettro-dinamico* per distinguerlo dall'ordinaria *forza elettro-motrice* di Volta (*Bibl. Univ.* T. 35 pag. 94). Io cercai di verificare tempo fa questo risultato, ma non mi riuscì di farlo, ad onta che impiegassi nella ricerca i più delicati de' miei galvanometri. Trovai sempre i conduttori metallici alterati unicamente là dove avevano pescato ne' liquidi, e non mai fuori. Il prof. Marianini aveva prima di me limitata la stessa alterazione alle parti immerse, nè io feci realmente che estendere il principio a tutti i casi, e renderlo più concludente in grazia degl' istrumenti impiegati a verificarlo.

Digitized by Google

scuote più all'atto in cui s'interrompe o si chiude il circuito della pila medesima: si scuote invece se s'inverte il circuito, esponendo così l'animale all'azione della corrente contraria. Questo fatto prova che la corrente nel traversare i nervi della rana determina su di loro un' alterazione a cui i nervi stessi s'abituano dopo un certo tempo, in guisa da non risentirsi più di quell' azione che gl'irritava grandemente da principio. Questo risultato è troppo conforme alle note leggi di fisiologia sulla tolleranza degli stimoli per eccitare maraviglia; la eccita invece considerato sotto il punto di vista fisico, essendo unico in tutta la classe de' conduttori umidi traversati dalle correnti elettriche. Sopra tali conduttori non resta infatti, dopo quel passaggio, maggior traccia di quelle che rimangono sui fili metallici. La sola rana ne conserva, per così dire, l'impronta; e questo sarà per essa uno stato, a cui converrà il nome d'*elettro-tonico* fors' anche più che non conviene ai fili del sig. Faraday. In ogni modo la maggiore o minore proprietà dell'espressione non ci farà trascorrere sulle differenze reali ch'esistono fra i due fenomeni. Cominceremo dal ricordare che le correnti elettriche producono entro le sostanze per cui passano, certi effetti che non hanno alcuna relazione coll'influenza ch'esse esercitano al di fuori. Prova ne siano le decomposizioni chimiche che si eseguiscono entro i liquidi conduttori, indipendentemente dall'effetto elettrodinamico che gli stessi liquidi producono al di fuori. Se non per sempre importa per ora tenere distinti gli effetti *interni* dagli *esterni*, e guardarsi per conseguenza dal ravvicinare più che non conviene i due stati elettro-tonici della rana e dei fili del signor Faraday, essendo l'uno un effetto *interno*, e l'altro un effetto *esterno* relativamente alla causa che li produce amendue. Oltre a ciò si ha la differenza di conducibilità da valutare, essendo la rana un conduttor di seconda classe, ed i fili metallici di prima. Del resto può darsi che ad onta delle diversità accennate sussista fra i due stati elettro-tonici qualche analogia, e basta una tale possibilità per far sentire il bisogno di sottoporre la questione ad un esame più severo. E ciò diventa tanto più necessario che non si tratta d'una questione puramente fisica: si tratta d'un fatto che si lega alla economia animale, e potrebbe trovare in medicina qualche utile applicazione.

VIII. Viste teoriche.

Una corrente elettrica che passi vicino ad un pezzo di ferro o d'acciaio, tende a produrre su di esso due effetti, che si direbbero a prima vista contrari l'uno all'altro. L'uno di questi effetti consiste nella calamitazione ordinaria dipendente, secondo la dottrina del sig. Ampère, da correnti elettriche che si eccitano d'intorno alle particelle del metallo magnetico *nel sen-*

Digitized by Google

so della corrente produttrice. L'altro effetto è quello scoperto ultimamente dal sig. Faraday, e consiste nella corrente istantanea che si manifesta entro la sostanza del metallo *nel senso contrario alla corrente produttrice*. Sarebbe assurdo il supporre che la medesima causa producesse due contrari effetti nel medesimo tempo sul medesimo corpo: eppure nell'annunziare i due fenomeni come si è fatto e si fa ordinariamente, viensi in tal quale maniera a commettere siffatta incongruenza. È vero che si dichiara che le correnti del magnetismo sono *molecolari*, mentre le altre, quelle del sig. Faraday, sono *generali*; ma alla fine le une siccome le altre sono correnti elettriche, e la contrarietà della loro direzione non diviene, in forza di quella distinzione, un risultato meno inconcepibile nella tacita supposizione che si fa, che l'azione de' corpi elettrizzati e calamitati, s'eserciti a dirittura sopra il fluido elettrico dei conduttori vicini, senza pensare alla parte che può avere nell'effetto la materia propria de' corpi sottoposti a quel genere d'influenza. Sinchè si mette in giuoco il solo fluido elettrico, niun dubbio che tutto riesca oscuro, e poco meno che contradittorio. Perchè dunque non si chiama in scena la materia propria de' corpi? Perchè, invece di dire che la calamitazione consiste in correnti elettriche che girano d'intorno alle particelle de' metalli magnetici, non si assegna questo giro alle medesime particelle? Perchè, ammesso questo giro, come conseguenza dell'impulso ricevuto dalle particelle alla presenza delle correnti elettriche, non s'ammette, come conseguenza del medesimo impulso, un piccolo spostamento in tutte le particelle nella direzione della corrente, e non si cerca in tale spostamento la causa della nuova classe di fenomeni? Se l'elettricità agisce sui corpi, i corpi reagiranno necessariamente sull'elettricità, ed un fenomeno elettrico sarà sempre un fenomeno misto, dovuto in parte al fluido elettrico, ed in parte al corpo sia considerato in massa, sia nelle singole sue particelle, secondo le circostanze. Tutto sta nel ben distinguere ciò che tocca a ciascuno dei due elementi, e quale è nei singoli casi il primo ad essere posto in azione. Nella questione, che ci occupa, sarebbero le particelle del metallo che, sotto l'influenza delle correnti esteriori, si sposterebbero le prime, inducendo nel fluido elettrico che le circonda a guisa di piccola atmosfera, *uno stato di tensione* qual converrebbe, per la durata e la direzione, allo sviluppo della prima corrente del sig. Faraday. Secondo questo modo di vedere lo stato elettro-tonico consisterebbe nello spostamento di quelle particelle; spostamento che durerebbe per tutto il tempo che resta il filo metallico in presenza della corrente, e che poi al togliersi di questa corrente cesserebbe immediatamente retrocedendo le particelle al lor posto, e riproducendo in questo ritorno il fenomeno inverso, cioè una tensione ed una corrente contraria a quella del primo mo-

mento, nel quale le particelle furono tutte strascinate un passo innanzi dalla corrente produttrice. Lo stato elettro-tonico non sarebbe così uno stato veramente elettrico che nei due istanti del suo nascere e del suo sparire; in tutto il resto del tempo sarebbe uno stato di stiramento; uno stato di violenza per le particelle metalliche trasportate fuor di posto dalla corrente, e mantenute in quella forzata posizione sintanto che dura la causa che ve le ridusse. In questo stato non vi è così a tutto rigore nulla d'elettrico: il principio e la fine si converte unicamente in *tensione elettrica* per la rapidità dei movimenti che hanno luogo in quei due' momenti, e per cui si sbilancia momentaneamente il fluido elettrico intorno alle rispettive particelle. È difatti evidente per la natura eminentemente conduttrice delle sostanze metalliche che quello sbilancio, quella tensione, non potrà durare d'intorno alle particelle che un solo momento: il fluido sbilanciato tenderà immediatamente a mettersi in equilibrio, e passando rapidamente dall'una all'altra particella determinerà nella massa una corrente istantanea, conforme ai risultati dell'esperienza.

Non è questo il luogo d'entrare in maggiori dettagli intorno a siffatto modo di vedere. Sia in un articolo destinato specialmente alla teoria delle nuove correnti, sia in un lavoro più generale che comprenda tutti i rami dell'elettricità e del magnetismo, daremo alle nostre idee lo sviluppo che possono meritare, avendo qui dovuto limitarci a darne un semplice annunzio.

Dal Museo. Firenze li 10 luglio 1832.

Digitized by Google

TEORIA FISICA

DELLE

INDUZIONI ELETTRO-DINAMICHE

In uno dei nostri lavori sul magneto-elettricismo ci siamo, il cav. Antinori ed io, occupati specialmente del *magnetismo di rotazione* (1). Noi credevamo a quell'epoca che la teoria fisica di un tale magnetismo fosse matura, e fummo confermati in quest'opinione dai risultati che ottenemmo sui dischi metallici del sig. Arago *scandagliati* in modo, col mezzo de'fili del galvanometro, da mettere in evidenza il doppio sistema di correnti che si determina sopra que' dischi all'atto in cui girano sotto l'influenza delle calamite. Senza dissimulare la fiducia che c'inspirò il complesso delle nostre osservazioni, converremo ora ingenuamente della necessità di ritornare sulle nostre traccie per chiarire maggiormente il soggetto, e rispondere alle difficoltà che sono insorte dopo quella pubblicazione. Non erano allora note le esperienze del sig. Faraday che per quel cenno che ne avevano dato i giornali politici. Ora si conosce tutto questo lavoro veramente originale, e si può con piena cognizione di causa portare il giudizio che merita (2). Il sig. Faraday ha toccati da per tutto i punti vitali della questione, ed illustrati con tanta dovizia d'esperimenti che ha poco meno che esaurito il soggetto (3).

(1) *Ant.* N.° 134. Tale memoria non è compresa nella presente edizione: vi suppliscono il testo e le note di quest'articolo; il quale contiene le rettificazioni di cui si parla più sotto: *rettificazioni* ch'erano pubblicate tre mesi prima che comparisse *dans les Annales* (Dicembre 1832) La *lettera* che il Sig. Faraday diresse al Sig. Gay-Lussac, dove confutata, con un'insistenza non comune, la prima nostra teoria si ricade alla fine nella più gran parte delle nostre ultime idee. Io noto quì questo sconcio perchè non fu avvertito dagli estensori *des Annales* in quell'occasione nè dopo, come pure sembrava che dovesse esserlo per la verità del fatto indipendentemente da qualunque altra considerazione.

(2) Questo lavoro, pubblicato negli Atti della Società di Londra dell'anno passato, è inserito per disteso *dans les Annales de Chimie et Physique* Tom. 55. e per estratto nei fascicoli di Marzo e di Aprile della *Bibl. Univ.* di Ginevra.

(3) In mezzo a tanta ricchezza sorprende un poco la maniera colla quale il dotto inglese cita le ricerche fatte al Museo, appena arrivò in Firenze, la notizia delle sue scoperte. Ricordata la lettera in cui egli (il sig. Faraday) comunicò i risultati delle sue esperienze al sig. Hachette, soggiunge che *una copia di tal lettera fu inserita nel* Temps *del 28 dicembre, e pervenne rapidamente al sig. Nobili, il quale in compagnia del cav. Antinori, fece immediatamente delle esperienze su questo soggetto, ed ottenne parecchi dei risultati indicati nella mia lettera; rispetto agli altri non poterono ottenerli, o forse non li compresero in grazia della brevità della mia esposizione* ...

È facile di verificare due cose; la prima che fra le esperienze, istituite in

Le sue ricerche son divise in sei articoli o paragrafi, uno de' quali, il 4.°, è destinato al magnetismo di rotazione. Dall'esame di questo lavoro io credeva da principio che non ne risultasse, per la prima nostra teoria, altro bisogno fuor che quello di un'appendice, la quale comprendesse i nuovi risultati, e rettificasse le spiegazioni là dove fosse occorso. Ma non così tosto misi la mano all'opera, che m'accorsi essere tutte le questioni così strettamente legate fra loro, che per risolverle bisognava ricorrere all'analisi dei primi fatti. Questa è l'origine della presente memoria, la quale se fu cominciata coll'idea d'una semplice appendice, è pur cresciuta al segno di comprendere tutta la serie delle induzioni elettro-dinamiche.

Fatto fondamentale del sig. Faraday.

I fili voltaici, i fili percorsi da una corrente elettrica hanno, in certe circostanze, la virtù di svolgere, d'indurre delle correnti istantanee sopra altri fili metallici. Tale induzione ha luogo in due casi, quando cioè il filo senza corrente s'accosta parallelamente all'altro della corrente, e quando si scosta. Nel primo caso la corrente *indotta* è contraria per direzione alla corrente *induttrice*: nel secondo è nel medesimo senso di questa. L'intensità del fenomeno cresce colla rapidità del movimento; cala colla lentezza, e s'estingue affatto nello stato di quiete (1).

quel tempo al Museo, ve ne erano alcune, di cui la lettera del sig. Faraday non faceva il menomo cenno. Non si move dubbio; sarà assolutamente vero, che quegli esperimenti fossero stati eseguiti prima de' nostri; ma l'annunzio non ne parlava, e se fummo indovini, fu pur qualche cosa.

L'altro punto è meno puerile, perchè si riferisce alla *calamita elettrica* che fu inventata a Firenze e non a Londra, e che non è sicuramente una copia di ciò che ha detto o fatto il sig. Faraday, sia prima di quella sua notizia, sia dopo. Sino a qual segno poi arrivi la differenza fra l'apparato del Museo e l'anello di ferro del signor Faraday avviluppato da due spirali, e messo in attività con una pila per avere, fra due punte di carbone, una debole traccia di luce, sin qui indistinta per noi, è cosa che abbandoneremo al giudizio de' dotti imparziali.

(1) Le correnti indotte sono in generale troppo deboli per riuscire sensibili sopra un semplice filo influenzato da una sola corrente elettrica. Questo caso è però il più semplice, e conviene partire da esso per fissare le idee. Si sa del resto come impiegando de' lunghi fili avvolti a spirale si rinforzi l'induzione al segno di manifestarsi distintamente. Noi sogliamo fare l'esperimento con due *quadrati moltiplicatori* composti ciascuno di un centinaio di giri. L'uno de' quadrati comunica con un buon galvanometro; l'altro colla sorgente voltaica, che può consistere in un solo elemento alla Wollaston di 20 a 24 pollici di superficie. I due quadrati poggiano sullo stesso piano, voltati in guisa da avere due dei loro lati in faccia l'uno dell'altro e paralleli. Egli è nell'avvicinarsi di questi lati che si ha una delle correnti indotte; si ottiene l'altra nell'allontanarli. Giova cominciare da quest'esperimento per mettere in evidenza il caso più semplice d'una corrente rettilinea sopra un filo egualmente rettilineo e parallelo alla corrente. Si sovrappongono in seguito i due quadrati se si vuole quadruplicare l'effetto. Il lato de' nostri quadrati è di 6 in 7 pollici; ed il filo di rame coperto di seta,

Digitized by Google

È indifferente per l'effetto che l'uno o l'altro dei due fili sia in movimento. Non basta: il filo della corrente e l'altro che deve soffrire l'azione, possono amendue essere immobili, e dar luogo allo stesso eccitamento facendo sparire e ricomparire la corrente del filo voltaico: all'atto in cui la corrente s'introduce su questo filo, si svolge sull'altro la corrente contraria; all'atto in cui la corrente svanisce, si riproduce dall'altra parte l'effetto inverso d'una corrente che va nel senso della corrente estinta.

In questi due ultimi casi non vi ha movimento ne' fili, ma vi è bene soddisfatta la condizione di prima, la quale si riduce in sostanza a questo, che il filo cioè destinato all'induzione si presenti o si sottragga sollecitamente all'azione d'una corrente.

Azione delle correnti elettriche sulle masse di metallo in movimento.

Due sono i casi da contemplarsi, l'uno in cui la corrente è *perpendicolare*, l'altro in cui è *parallela* alla direzione del movimento. Le posizioni oblique si riducono facilmente a queste due combinazioni. Cominciamo dalla prima.

Combinazione perpendicolare.

Quest'esperienza è stata eseguita sopra un anello di rame, fissato stabilmente all'orlo d'un disco di legno, o d'altra materia non metallica, per metterlo in rotazione secondo uno dei soliti mezzi, di faccia ad una corrente voltaica. L'anello di cui si parla, è rappresentato in OO (fig. 35. Tav. IV) (1). Le sue basi si suppongono orizzontali; verticale per conseguenza il suo asse, e parallelo al filo voltaico dinanzi a cui si eseguisce il movimento nel senso orizzontale. Un tal filo è segnato in A B. Quando la rotazione dell'anello si fa secondo le freccie R, R, e quando la corrente *monta* sul filo, come indica la fig. 35. gli *scandali galvano-metrici* (2), collocati l'una al dissopra dell'anello, l'altro al dissotto scoprono le correnti che si formano sul metallo dall'una e l'altra parte pel filo. Le parti ch'entrano sotto l'azio-

impiegato nella costruzione di ciascheduno, è lungo due centinaja di piedi. Il diametro del filo è poco meno d'un millimetro.

(1) Le sue dimensioni erano le seguenti:

Diametro	5 pol.	3 lin.
Altezza		17
Grossezza		1

(2) Chiamiamo così le estremità de' fili del galvanometro, quando si portano sopra un dato luogo per esplorare le correnti che vi possono esistere. In queste esplorazioni conviene usare certe avvertenze per non cadere in equivoci; noi le indicheremo alla fine della memoria in una *Nota* speciale per non interrompere con una digressione il corso delle esperienze.

ne della corrente sono le *cd*, e qui si riscontrano delle correnti *c d* contrarie ad A B. Dall'altra parte si manifesta il fenomeno inverso, le correnti cioè *a b* dirette nel senso di A B.

Questi risultati non hanno bisogno di spiegazione: sono una conseguenza manifesta della legge riferita poc'anzi, in grazia della quale le correnti indotte per avvicinamento o per allontanamento marciano da contraria parte, e sono rispetto alla corrente induttrice, le prime in opposizione con questa, le seconde nella medesima direzione.

Le correnti di cui si parla, sono molto deboli, sinchè l'esperienza si limita all'azione d'un solo filo voltaico A B. Sostituendo a quest'unico filo il lato d'un rettangolo moltiplicatore cresce l'effetto in proporzione del numero de'suoi giri, e si tolgono così que'dubbi che possono rimanere nella ricognizione delle piccole forze.

Oltre alle correnti contrarie *a b* . . . . *c d* . . . . gli scandagli galvanometrici ne scoprono delle altre egualmente contrarie sugli spigoli, superiore ed inferiore dell'anello. La freccia orizzontale *b c* indica il corso della corrente come ha luogo dal lato superiore; dal lato inferiore l'effetto inverso che vi si determina, è segnato dalla freccia *d a*.

È facile di riconoscere l'origine di queste correnti orizzontali, perchè esse non son altro che la continuazione delle correnti verticali. Immaginiamoci due pile voltaiche *rz*, *r'z'* (fig. 36) collocate verticalmente, in senso inverso, l'una presso dell'altra e comunicanti insieme col mezzo di due barre metalliche *bc*,*da*. Queste appendici chiudono il circuito delle due pile, e la corrente elettrica che parte dall'una per versarsi sull'altra, le traversa nel senso indicato dalle freccie. Or basta trasportare questo risultato sulla superficie dell'anello della fig. 35. per vedere come le correnti verticali, indotte in *ab* . . ., *c d* . . . . abbiano a scaricarsi le une sopra le altre per la ragione che comunicano insieme per mezzo di materia egualmente conduttrice di quella in cui sono eccitate esse medesime. Il paragone del circuito delle pile (fig. 36), già giusto per sè, lo diviene materialmente anche di più, se si sostituisce a ciascuna delle due pile un elemento termo-elettrico eccitato come conviensi per avere sulle barre di comunicazione le correnti contrarie *bc*, *da*. Il circuito elettrico diventa così tutto metallico, appunto come si è quello che si forma sulla superficie dell'anello (fig. 35) sotto l'azione del filo voltaico AB.

Per prepararci ai risultati d'esperienze più complicate conviene paragonare qui il sistema di correnti che si determina sul metallo in faccia del filo A B, con quello d'un cilindro elettrodinamiro. Già si sa che questi cilindri imitano, ne'loro fenomeni, le calamite ordinarie, attraendo e respingendo come fanno i poli degli aghi magnetici. Facendo il confronto di cui si

parla, si trova che il corso *abcd* è quello che corrisponde al polo *sud* del cilindro elettro-dinamico, a quell'estremità cioè che gode le proprietà del polo *sud* d'una calamita qualunque. L'effetto adunque che accade sul metallo in forza della corrente A B può esprimersi molto semplicemente, dichiarandolo per un polo *sud* senz'altra aggiunta. L'espressione comprende tutto il fatto: la lettera S coperta in parte dal filo A B lo risovviene: cure minute, ma che gioveranno per l'avvenire.

La fig. 35 contiene i risultati del caso, in cui la corrente induttrice *monta* per il filo AB. Quando la corrente *discende* nascono gli effetti inversi, e questi sono rappresentati nella fig. 37. Il sistema delle correnti indotte non corrisponde più al polo *sud* de' cilindri elettro-dinamici e delle calamite: corrisponde al polo *nord* a cui allude la lettera N.

Il filo A B della fig. 35 conduce una corrente che *monta;* il filo C D della 37 conduce invece una corrente che *discende*. Portiamo adesso questi due fili dinanzi all'anello che gira, e scandagliamolo in quella parte appunto che corrisponde all'intervallo de' due fili. Troveremo in tutto questo spazio delle correnti ben decise che discendono lungo i lati, come indica la fig. 38 e come era facile di prevedere dopo i risultati delle due figure 35 e 37. La materia ch'esce dall'azione della corrente C D entra sotto l'azione della corrente contraria A B: nell'allontanarsi dal filo C D; la corrente indotta va nel senso della discendente C D; nell'avvicinarsi al secondo filo A B la corrente indotta è contraria alla corrente montante A B, che vale quanto dir ch'essa è discendente come prima. Le due azioni cospirano insieme; si rinforzano reciprocamente in guisa da raddoppiare l'effetto in mezzo a quell'apparente contrarietà di forze.

Questo risultato si riproduce spessissimo e merita d'essere distinto in mezzo a tutti gli altri: le correnti induttrici non possono esser applicate più vantaggiosamente al metallo; come è facile di prevedere sin da questo momento, e come diverrà sempre più chiaro a misura che progrediremo nelle nostre osservazioni. Oltre alle correnti discendenti *c d*, *c' d'* se ne formano delle altre sulla superficie dell'anello, ma queste sono subordinate alle prime, e si può omettere per ora di parlarne. Basti il sapere che partono tutte da *r z* come se esistesse in quella parte di metallo una pila, una forza elettro-motrice capace di mettere in moto l'elettricità dall'alto in basso.

Rovesciando amendue le correnti induttrici A B, C D s'invertono pure le correnti *r z*, le quali di discendenti ch'erano, divengono ascendenti. Montino o discendano, sono però sempre parallele alle correnti induttrici, e perpendicolari alla direzione del movimento. Tale è il primo canone a cui conduce l'esame della combinazione *perpendicolare* fra il metallo in movimento e la corrente elettrica. Si passi ora alla *parallela*.

Combinazione parallela.

Sia BC (fig. 39) un filo voltaico collocato orizzontalmente al dissopra dell'orlo dell'anello OO. Quest'anello giri poi come dianzi, e la corrente del filo BC vada dal lato che indica la punta della sua freccia.

Potendosi a prima vista presumere che nascano in questo caso delle correnti orizzontali sulla superficie cilindrica dell'anello, si cominci dall'applicar quivi gli scandagli galvanometrici; ma non si troverà in quella direzione o nessuna corrente o delle traccie insignificanti. Si trovano invece delle correnti ben distinte lungo i lati dell'anello, e tali correnti sono, nel caso di cui si tratta, discendenti come indica la freccia *r z*.

Si hanno dunque qui due risultati da spiegare; il negativo nel senso orizzontale, che è quello del movimento, ed il positivo nella direzione verticale che è perpendicolare alla direzione del movimento.

Il primo effetto si comprende con facilità fissando le idee sopra una porzione di filo *x y* (fig. 40) che scorra parallelamente dinanzi ad una corrente indefinita B C. Supponiamo che il movimento di *x y* sia, come nella fig. 39, secondo la freccia R. In tale trasporto il filo *x y* si allontana dalla corrente *r* C, e in virtù del fatto fondamentale tende a formarsi sopra di esso una corrente *r' c* diretta dalla parte di *r* C. Ma nello stesso tempo che il filo *x y* si scosta da *r* C, si avvicina esso alla corrente B *r*; e questa tende a produrre sopra di lui la corrente contraria *r' b*. Le due induzioni *c r'*, *b r'* sono poi, non solamente contrarie, ma uguali. Si distruggono dunque totalmente; e la condizione del movimento non serve in tal caso a favorire nè punto nè poco l'induzione.

La cosa cangia affatto d'aspetto nella direzione perpendicolare. Basta infatti scambiare la posizione *x y* parallela al filo B C, nell'altra *x' y'* (fig. 41) perpendicolare per veder nascere lo stesso segno, la stessa direzione nelle due induzioni *r' c'*, *b' r'*; la prima *r' c'* è corrente indotta per allontanamento e va per il verso di *r* C'; la seconda *b' r'* è corrente indotta per avvicinamento, e va per lo stesso verso della prima perchè contraria a B *r* (1).

(1) Questo risultato si rende anche più evidente ricorrendo al principio della decomposizione delle forze, impiegato già dal sig. Ampère nella sua teoria, dopo d'averne dimostrato l'esattezza con esperienze dirette.

Si prendano ad eguale distanza da una parte e l'altra del punto centrale *r* (fig. 41 *bis*) due elementi di corrente *mo, pt*, e si sostituiscano ad essi gli elementi *mn, no* e *pq, qt* per modo che i triangoletti *mno, pqt* siano isosceli e rettangoli in *n* e *q*. Si decomponga parimenti l'elemento *xy* del metallo in movimento nei due altri *xh, xk* paralleli ad *no*, e *pq*. Nel movimento da destra a sinistra l'elemento metallico *xk* s'allontana dalla corrente *pq*, e si forma in esso la corrente *xk* nel senso della *pq*. Nel medesimo tempo l'altro elemento *xh* s'avvici-

Questo caso si rinnova poi evidentemente tutt' all' intorno del filo B C che vale quanto dire sopra tutti i raggi d' un disco $z'' z''$ (fig. 9) traversato, a modo d' asse, da una corrente elettrica. La materia di qualunque raggio $r z$ si trova difatti alla condizione dell' elemento $x' y'$ (fig. 40) e diviene per conseguenza la sede d' una corrente che va dal centro alla circonferenza.

Se il movimento della corrente s' inverte sul filo voltaico, s' inverte pure l' irraggiamento come si vede nella fig. 10 la quale non ha bisogno d' ulteriori schiarimenti.

Quando il movimento si effettuava *perpendicolarmente* alla direzione del filo voltaico (figg. 35, 37), le correnti indotte sul metallo erano parallele alla direzione del filo, perpendicolari alla direzione del movimento, e dirette da parte opposte nelle due regioni d' entrata e d' uscita dal filo medesimo. Fu questo il primo canone che si stabilì nel paragrafo precedente, al quale va ora aggiunto l' altro che risulta dall' analisi della combinazione di cui si tratta, dove il movimento si fa *parallelamente* al filo voltaico. In questo caso la corrente indotta è di nuovo perpendicolare alla direzione del movimento, ma perpendicolare eziandio alla direzione del filo, che sia centro, in ogni punto, d' una specie d' irraggiamento dal di dentro al di fuori, e viceversa secondo che il movimento del metallo si effettua in un senso o nell' altro:

Questo secondo canone conduce a conseguenze analoghe a quelle del primo. Nel caso de' fili verticali, le correnti A B, C D (fig. 38) agiscono sul metallo frapposto in modo da raddoppiarvi l' effetto che spetta a ciascheduna di esse. Così per raddoppiare sull' anello OO della fig. 39 l' induzione operata dalla corrente orizzontale B C altro non occorre che applicare dal lato inferiore una seconda corrente D A contraria alla prima B C. L' esperienza dimostra la verità di quest' osservazione, e la teoria la spiega immediatamente, il caso di cui si parla, essendo già in tal qual modo scolpito sulla parte intermedia delle due figure 42 e 43 dove si veggono le freccie $r z$, $r' z'$ delle correnti indotte rivolte dalla medesima parte.

L' una o l' altra delle due figure spiega egualmente ciò che accade sull' anello di rame quando la corrente passa dinanzi alla metà della sua altezza. Supposta in azione la corrente D A della fig. 43, si hanno dalla metà in sù (vedi la fig. 44) le correnti indotte $r' z$; dalla metà a basso le correnti contrarie $r z$. Che se invece d' un solo filo voltaico A D se ne impieghi un tal numero da coprire tutta la metà superiore dell' anello, egli è evidente che ogni filo aggiunto tenderà a crescere l' induzione

na alla corrente no, e per questa ci nasce sopra la corrente xh contraria ad no. Le correnti xh e xk vanno dal lato di y, e ricompongono sopra xy la corrente verticale e discendente che si è verificato di sopra.

Digitized by Google

sulla parte inferiore. Così lo stesso numero de' fili aggiunto dal lato inferiore servirà a crescere l'induzione superiore. Il risultato dunque della corrente centrale D A non cangia di carattere per l'aggiunta di nuove correnti, fatta da una parte e l'altra: l'effetto diviene soltanto più intenso come se, invece di crescere il numero delle correnti, si fosse competentemente rinforzata la sola corrente centrale D A.

Riunione delle due combinazioni perpendicolare e parallela.

L'immediato confronto di queste due disposizioni, rappresentate nelle figg. 38 e 39, fa vedere che i loro risultati sono, sul metallo interposto *r z*, i medesimi per ciò che riguarda il senso dell'induzione. Ma se la direzione è la medesima, l'intensità dell'effetto è differente. La combinazione più attiva è la perpendicolare, quella cioè della fig. 38: superiorità ben chiara da spiegarsi dacchè le correnti verticali A B, C D esercitano sugli elementi verticali del metallo interposto, la loro azione molto più direttamente che non fanno le correnti orizzontali B C, D A della fig. 39.

Ad ogni modo le due coppie di correnti possono combinarsi insieme, ed applicate contemporaneamente al metallo accrescere di molto l'effetto, cospirando amendue al medesimo scopo. Uno stesso filo voltaico piegato in forma di rettangolo, come si vede in A B C D (fig. 45), serve senz'altro a riunire insieme le due disposizioni, avendo esso nei lati verticali A B, C D le correnti della fig. 37, e nei lati orizzontali B C, D A le correnti della fig. 39.

Dal più al meno, qualunque circuito chiuso o presso che chiuso produce lo stesso effetto. Non importa per altro occuparsi delle forme irregolari, le quali non presentano in sè veruna singolarità, e che si riducono tutte ai circuiti rettangolari col principio della decomposizione delle forze. Di questi soli va parlato, e dei circolari *a b c d* che sono le forme ordinarie che si danno alle spirali elettro-dinamiche, destinate ad imitare, ne' loro effetti, le calamite.

Dopo questi primi risultati la nostra marcia diverrà molto più rapida. Ogni esperienza sarà un corollario de'casi precedenti, e basterà quasi sempre la semplice esposizione del fatto per esser immediatamente compreso. Affine poi di non moltiplicare oltremodo gli esperimenti, sceglieremo fra questi i più interessanti, che sono anche per buona sorte i meno complicati e concatenati in guisa da non lasciare fra loro alcuna rilevante lacuna.

Dischi e globi ruotanti.

Abbiasi in z z' z'' z''' (fig. 46) un disco di rame che ruoti in

faccia d'un filo voltaico AD collocato nel medesimo suo piano. Quando nel filo la corrente va nel senso della rotazione, come indicano le freccie della figura, si sviluppano sul disco delle correnti raggianti che vanno dal centro alla circonferenza.

Per intendere questo bel fatto basta fissare le idee sopra i due raggi rz, rz'', paralleli al filo DA. Nella rotazione del disco il raggio rz s'avvicina alla corrente DA: la corrente indotta in esso è dunque rz contraria a DA. Nell'istesso tempo il raggio rz'' collocato dall'altra parte s'allontana dalla corrente DA: la corrente indotta in esso è dunque rz'' nello stesso senso DA.

Per gli altri raggi la cosa è chiara egualmente, diviso che siasi, col diametro $z'z'''$, il disco nelle due regioni ch'escono ed entrano successivamente sotto l'influenza della corrente D A. I raggi infatti della regione di dritta entrano tutti a poco a poco sotto l'azione della corrente, sinchè arrivati in rz', passano dall'altra parte per allontanarsi dalla medesima. Quelli di dritta dividono tutti, più o meno, la sorte di rz, come gli altri di sinistra dividono quella di rz'', propagandosi per tal modo sopra tutto il disco, quel sistema di correnti raggianti che è scolpito sulla figura.

Questo sistema è debolissimo, e presso che insensibile dinanzi a un solo filo voltaico A D. Si rende più distinto dirimpetto al lato d'un rettangolo moltiplicatore; più forte ancora mettendo il piatto dentro ad una spirale che l'abbracci tutt'all'intorno. In questo caso la forma più vantaggiosa da darsi alla spirale è la circolare, siccome quella che porta l'azione in tutti i suoi punti, più vicino alla materia del disco in movimento. Del resto l'aumento dell'effetto è, in tutte le circostanze ora dichiarate, una conseguenza manifesta dello stesso principio, non facendosi altro che aggiungere forza a forza, e distribuirla, nel caso delle spirali circolari, secondo il modo più vantaggioso d'intorno alla massa del metallo. Questa disposizione d'un anello elettro-dinamico intorno al disco oltre d'esser la più efficace è anche, all'atto pratico, la più semplice e la più comoda. L'esperimentatore deve dunque preferirla alle altre.

Sinchè i dischi metallici non hanno, come d'ordinario, che poche linee di grossezza, gli scandagli galvanometrici non scoprono sopra di essi che le correnti raggianti della fig. 46 le quali si sviluppano allo stesso modo sopra l'una e l'altra base. Quando però que' dischi abbiano un'altezza maggiore, di sei linee per esempio e più, in allora si manifestano eziandio delle correnti sull'orlo, e sono qui in doppio senso, quali le suggerisce la fig. 44 che è per appunto il caso a cui si riferiscono immediatamente. La fig. 47 presenta all'occhio tutto l'effetto: la linea punteggiata DA indica la posizione della spirale elettro-dinamica; il resto è chiaro per sè.

Noi abbiamo fissate le idee sopra un grosso disco OO per le-

gare più facilmente il discorso alle osservazioni precedenti. Il risultato però non dipende che dalle condizioni simmetriche della massa metallica; ed un globo, per la perfetta simmetria delle sue parti, diventa in certo modo il tipo del fenomeno. A questa semplicissima forma giova, nelle applicazioni, aver ricorso piuttosto che a qualunque siasi altra. Egli è per tale motivo che al disco OO della fig. 47 trovasi associato il globo O'O'.

Oltre a questa bella combinazione, su cui ritorneremo a momenti, ve ne ha un'altra che merita attenzione, ed è quella in cui la massa metallica gira in un piano perpendicolare a quello della spirale elettro-dinamica. La fig. 48 rappresenta questa disposizione: *abcd* è la spirale in forma d'anello, ed OO il solito disco che vi gira dentro. A scanso di confusione, conserviamo per la rotazione e per la corrente la direzione della fig. 37 e sull'orlo del disco, in faccia della corrente discendente *cd*, si forma quel tal corso di correnti che corrisponde al polo *Nord* d'un cilindro elettro-dinamico. Dalla parte opposta *s*, la corrente induttrice è la *ab*, che monta: l'effetto è inverso, e per conseguenza come si forma in N un polo *Nord*, si forma in *s* il polo contrario *Sud*.

Così la massa ruotante, sia essa un disco, o un globo, od anche d'altra forma si converte in una vera *calamita elettro-dinamica* avente per asse una linea N*s*, comune sezione del piano di rotazione coll'altro *abcd* delle correnti induttrici. Una tale trasformazione, per cui si genera in N un polo nord, ed in *s* un polo sud, va registrata nel numero de' nuovi principii, per poterlo applicare con successo e facilità a tutte le esperienze che si sono fatte da Barlow, e dallo stesso Faraday per iscoprire l'influenza magnetica ch'esercitano i globi in virtù della sola loro rotazione. Alcune riflessioni intorno alla natura delle correnti raggianti della fig. 47 e poi vedremo la più importante di queste applicazioni.

Riflessioni sulla natura dell'induzione raggiante.

Sinchè una corrente indotta sopra una massa di metallo è tale da scaricarsi da una o più bande entro la massa medesima, il caso si riferisce ad una delle ordinarie combinazioni voltaiche o termo-elettriche, e non vi ha di nuovo che il fatto dell'induzione, il modo cioè d'eccitamento. Straordinaria invece è l'irradiazione di correnti scolpita sulla fig. 47: qui non si vede da qual lato possano compiersi i circuiti, e restando interrotti non si sa come possano esistere e si chiede subito, per chiarire la natura del fenomeno, qual sia la combinazione voltaica capace, se non di riprodurlo, almeno d'imitarlo.

Prendiamo più specialmente di mira l'irradiazione del disco OO (fig. 47), e per questo immaginiamoci sopra la stessa linea

(fig. 49) due pile $rr'z$, $rr'z'$ congiunte insieme, e composte d'elementi di forma circolare che abbiano per centro comune i punti z, z' e sieno montati per modo che partendo dalla linea di contatto rr' collo stesso metallo, il negativo per esempio, si proceda da ambo le parti collo stesso ordine per arrivare ai punti centrali z, z' coll'altro metallo, il positivo. Si hanno così due pile, disposte e costruite per verità in un modo non comune, ma le cui proprietà non presentano alcuna novità. Sono due pile in istato d'isolamento dalla parte delle estremità positive z, z', ed isolate in sostanza anche dalla parte dove si toccano, perchè l'elettricità negativa che si sviluppa in quel luogo, essendo eguale in ciascuna delle pile, non dà luogo ad alcun passaggio di fluido dall'una all'altra parte. Sin quì non vi ha alcuna corrente elettrica in giro. Le pile sono isolate; e l'elettricità non esiste in quelle che nello stato ordinario di tensione, i cui segni non mancan mai all'elettrometro condensatore. La corrente comincia allora soltanto, che distrutto l'isolamento si scarica l'elettricità d'una parte sull'altra col mezzo d'un arco conduttore qualunque. Sia quest'arco il filo del galvanometro, e l'istrumento, a misura che scandaglierà il contorno delle due pile andrà fedelmente riproducendo le indicazioni di quattro correnti, che si vengono incontro come quelle d'una qualunque delle sezioni rettangolari del disco OO (fig. 47).

Da quest'analisi pare se ne possano dedurre queste due conseguenze, l'una che le correnti raggianti non esistono realmente sui metalli in movimento, ma che esiste in loro vece la tensione elettrica; la seconda che una tal tensione va ricercata all'equatore DA (fig. 47) delle masse metalliche, perchè essendo queste in comunicazione col suolo dalla parte del perno r' (fig 49) su cui girano, questo luogo si mantiene necessariamente allo stato naturale.

Noi abbiamo, com'è ben naturale, tentato di confermare col fatto questa deduzione, ma ad onta di varie prove reiterate in varie epoche non siamo mai riusciti a trarre da nessuna parte delle masse ruotanti alcun segno di tensione. La nullità di questi indizi potrebbe far temere un qualche vizio nella deduzione; potrebbe, per esempio, far supporre che le correnti raggianti invece di rimaner sospese nel lor corso, o convertirsi, come si è detto in tensione, si ripiegassero dentro le viscere del metallo, e facessero là dentro un giro così completo da rientrare in se medesime. Ma se quest'idea può presentarsi allo spirito, bisogna anche riflettere che l'induzione elettro-dinamica ha luogo in tutte le direzioni, e però se vi sono delle correnti raggianti alla superficie delle masse, ve ne sono necessariamente anche nell'interno. L'idea quindi di quel ripiegamento, di quelle correnti che si scaricano nell'interno, non ci sembra in alcun modo ammissibile, e la nullità de'segni elettro-metrici non è già

per noi un argomento contro l'esistenza di quella tensione, ma una prova soltanto della difficoltà di renderla manifesta sia per la sua eccessiva debolezza, sia per altre circostanze non ancora bene definite. Del rimanente è questo un punto di dottrina da guardarsi bene dal trattarlo con leggerezza, perchè potrebbe condurre a qualche luminosa conseguenza.

Magnetismo terrestre.

La terra è una gran calamita, e in questa qualità esercita sui metalli in movimento un'influenza da cui si è fatto astrazione ne' paragrafi precedenti per non complicare con essa le leggi che risultano dell'azione immediata de'sistemi elettro-dinamici. Ora conviene riparare l'ommissione, cominciando dal riflettere che per l'oggetto attuale poco importa di sapere in che realmente consista la causa che converte la terra in una specie li calamita. Checchè ne sia di questa cagione, certo è che gli aghi d'inclinazione ci fanno patente, in ogni luogo della terra, la direzione di quel magnetismo, e che basta una tale cognizione di fatto per sapere in quale direzione dovrebbe passare una corrente elettrica per produrre l'istesso effetto. L'inclinatorio segna alla nostra latitudine, un angolo di 63.° circa, e si sa che le correnti elettriche capaci di fissarlo in tale posizione dovrebbero passare dall'est all'ovest al disotto dell'ago, in un piano perpendicolare a quella sua inclinazione di 63.°

Noi abbiamo veduto ciò che accade ad un disco metallico che giri in faccia d'un filo voltaico (fig. 46) o che torna lo stesso dentro una spirale elettro-dinamica AD (fig. 47). Il disco diventa in allora la sede d'un sistema di correnti raggianti. Or tale per appunto è l'effetto che il sig. Faraday ha verificato per il primo sui dischi metallici fatti girare in un piano conveniente. Il più adattato di questi piani è patentemente quello che è perpendicolare alla direzione dell'inclinatorio, dove è necessario ch'esistano le correnti elettriche capaci di mantenerlo in quella posizione. Il piano orizzontale non varia per altro dal suddetto che di 27.°, ed anch'esso è abbastanza propizio per l'effetto di cui si parla, restando però fermo, come dichiara il sig. Faraday, che la *massima irradiazione* ha luogo nel piano di rotazione sopraindicato (1).

Supponiamo ora che la spirale AD (fig. 47) si trovi in questo piano, e che un globo O'O' vi giri dentro dall'est all'ovest, preso per asse una linea che sia al tempo stesso nel meridiano magnetico e perpendicolare all'inclinatorio. Saremo allora nel caso della fig. 48, ed invece dell'irradiazione della fig. 47 avremo sul globo il corso di correnti che la convertono in una spe-

(1) *Memoria citata* N.° 153.

cie di calamita, in una specie di spirale elettro-dinamica, disposta per modo col suo asse da presentare il polo *nord* dalla parte dell'est, ed il polo *sud* dalla parte dell'ovest.

Anche questo fatto che serve di base a tutti gli altri dello stesso genere, è stato verificato dal sig. Faraday con un ago magnetico reso astatico. Vide egli infatti il polo nord di quest'ago essere respinto dalla parte orientale del globo, attratto invece dalla parte orientale (1).

Per sottrarre un ago magnetico dall'influenza del magnetismo terrestre noi abbiamo due maniere, l'ordinaria di associare ad esso un secondo ago della stessa sua forza inversamente disposto; l'altra d'impernarlo in guisa da non averlo mobile che in un piano perpendicolare alla direzione dell'inclinatorio. Per le masse di metallo in movimento non esiste alcuna risorsa di questo genere. In qualunque piano esse girino, risentono l'influenza induttrice della terra, dando sempre luogo ad un effetto che ora consiste nell'irradiazione della fig. 47, ora nelle correnti della fig. 48, che rientrano in se medesime; ora in un sistema che partecipa più o meno dei due indicati secondo che il piano di rotazione piega più da un lato che dall'altro.

Era questa un'osservazione da aggiungere per non interpretare *alla lettera* un certo passo del sig. Faraday, dove dice che quando *i dischi metallici erano nel piano del meridiano magnetico, la rotazione non produceva alcun effetto sopra il galvanometro* (2). È questo uno de'casi, in cui si trova distrutta l'irradiazione; ma ad essa subentra un altro sistema di correnti, che per la loro debolezza possono restar celate al galvanometro, ma dell'esistenza delle quali non è permesso di dubitare dopo d'avere dimostrata la loro realtà in circostanze meno disfavorevoli.

Del resto l'induzione terrestre sulle masse metalliche in movimento è generalmente parlando molto più debole delle induzioni che si ottengono colle spirali elettro-dinamiche. Basta che queste sieno d'una certa attività, per prendere un decisivo sopravvento all'altra influenza, e dissipare così ogni ombra di confusione. È questo il migliore, anzi l'unico modo di liberarsi, per quanto è possibile, da un elemento, *il magnetismo terrestre* ch'entra di necessità assoluta da per tutto, e la cui presenza diviene talvolta importuna.

Calamite ruotanti.

Sin qui noi abbiamo considerate delle masse metalliche in movimento presso a de'fili voltaici indipendenti affatto dalle mas-

(1) *Memoria citata* N.° 164.
(2) *Memoria citata* N.° 153.

Digitized by Google

se medesime. Ora è tempo di proporre un'altra questione, di chiedere cioè che cosa accadrebbe se le masse in movimento contenessero in sè la causa induttrice, vale a dire quelle correnti elettriche che prima si facevano agire fuori di esse.

Per rispondere a un tale quesito che serve di transizione naturale ai bei risultati delle calamite ruotanti del sig. Faraday conviene innanzi tutto osservare che oltre alle masse metalliche si possono far girare i fili o spirali elettro-dinamiche senza alterare per questo le condizioni del fenomeno. E difatti, per partire dal caso più semplice, abbiasi in o' o' (fig. 50) un disco di rame che ruoti in faccia ad un anello elettro-dinamico *abcd* situato nel medesimo suo piano. In questo caso la corrente efficace sarà la più vicina *da*, la quale determinerà sul disco l'irradiazione della fig. 46. Niun dubbio che questo sia l'effetto operato dalla spirale *abcd*, quando essa se ne sta immobile dirimpetto al disco che le gira dinanzi. Si faccia ora girare anco la spirale intorno al proprio centro, e sia un tal giro fatto comunque, da una parte o dall'altra, con una velocità eguale o differente da quella del disco. Questo secondo movimento non altera per nulla l'effetto del primo: la materia del disco soffre sempre la medesima azione dalla parte dell'anello *abcd*, animato sempre, in *ad* come altrove, dalla stessa corrente. Questa corrente si rinnova per certo ad ogni istante, ma tale rinnovazione ha luogo egualmente quando i fili voltaici sono fermi, e questa non è che una condizione del tutto indifferente, poichè a produrre e riprodurre un dato effetto vale tanto una forza che non si cangi, quanto un'altra che si rinnovi ad ogni momento colla stessa energia.

Ciò posto si rovesci la spirale *abcd* sul disco o' o' per modo che questo vi giri dentro come nel caso della fig. 47, e colla sola differenza che la spirale giri pur essa intorno allo stesso centro. Siamo, rispetto a questo secondo movimento, nella medesima circostanza di dianzi, e come allora era un tal moto indifferente per l'effetto, così lo è egualmente in quest'altra combinazione, dove le correnti tutte della spirale concorrono a produrre lo stesso risultato, per cui cresce l'irradiazione senz' altra novità. Il movimento della spirale è una specie d'illusione, la quale svanisce al momento in cui si osserva che la corrente non cangia modo d'agire per essere sopra un filo in quiete od in movimento. E per verità come potrebbe mai sorgere una differenza se l'immensa velocità delle correnti elettriche non serba alcun confronto con quella dei più rapidi meccanismi?

Ancora un passo e siamo al punto cui volevamo pervenire. La spirale *abcd* non sia più separata dal disco ruotante, ma fissata stabilmente ad esso per modo da seguirlo nella sua rotazione: l'induzione elettro-dinamica sarà tuttavia la medesima. Ma il filo della spirale è sempre coperto di seta, e per conseguenza isolato dal disco metallico. Gli si tolga anche quella veste, e posto

ad immediato contatto del disco si supponga che la corrente elettrica investa tutto il disco, conservando per modo la direzione del proprio corso da girare là dentro sopra altrettanti circoli concentrici. Posta la possibilità del fatto che accadrebbe egli in tale circostanza? Abbiamo qui e correnti elettriche e massa di metallo in movimento. I due sistemi erano prima separati, ora sono riuniti, fusi insieme. In questa fusione nasc'egli un qualche nuovo fenomeno, oppure mantiensi il primo delle correnti indotte colle solite leggi?

In mancanza d'una risposta diretta, che non si può avere in grazia dell'impossibilità di realizzare sopra un disco di metallo il sistema di correnti concentriche immaginato poc'anzi, si ricorre alle calamite, le quali rispondono indirettamente sì, ma in modo concludente per la ben nota e ben provata analogia ch'esiste fra le due specie di magnetismo, l'ordinario e l'elettro-dinamico.

Una barra, un cilindro calamitato, che giri intorno al proprio asse, rinnova sopra di sè quel medesimo genere d'induzione che si verificò e descrisse sul disco OO (fig. 47) influenzato al di fuori da una spirale elettro-dinamica. Quel disco era largo e basso: un cilindro calamitato è all'opposto ristretto di diametro ed alto nell'altro senso. A riserva di questa differenza che porta sui lati della calamita la maggior parte dell'irradiazione (fig. 51) altra non ne esiste, corrispondendo l'effetto precisamente a quello che spetta ad un uguale cilindro di rame *sn*, avvolto tutt'all'intorno da una spirale elettro-dinamica, eccitata in modo da produrre in *n*, *s* quegli stessi poli che presenta la calamita ordinaria.

Non sarebbe necessario, ma pure si rammenti per maggiore chiarezza la disposizione delle due pile ad elementi circolari della fig. 49, colla quale s'imita l'induzione elettro-dinamica dei dischi di rame. È questa pure la rappresentanza che serve per il caso delle calamite, e che noi raccomanderemo all'attenzione dei leggitori, perchè essi non abbiano a rintracciare altrove la risposta a vari quesiti che si possono fare intorno alle calamite ruotanti. Dove per esempio, collocare i fili del galvanometro per avere il massimo effetto? L'uno all'equatore della calamita e l'altro all'estremità dell'asse per abbracciare in quest'intervallo tutta la forza induttrice, tutta l'altezza della pila *rz*. Negli altri luoghi si perde una porzione di quella forza, come vi ha, a circostanze pari, sottrazione d'elementi voltaici nell'esempio della pila *rz*.

Si riconobbe così, disse il sig. Faraday dopo d'avere scoperta l'induzione elettro-dinamica nelle viscere delle calamite per opera della sola rotazione, *si riconobbe così sino all'evidenza una singolare indipendenza fra il magnetismo e la barra dove esso risiede* (1). Singolare senza dubbio è il veder uscire da

(1) *Memoria citata* N.° 220.

una calamita in giro delle correnti le quali hanno un corso affatto differente da quello che siamo obbligati di ammettere dentro di esse dopo le scoperte e ricerche elettro-dinamiche del sig. Ampère. Ciò nullameno la maraviglia va scemando a misura che si approfondisce il soggetto; perchè non sembrano realmente *correnti elettriche* quelle che si sviluppano dentro alle calamite ruotanti; sembrano *tensioni elettriche*, le quali possono avere un'esistenza indipendente da quell'elettricità, che in effettivo stato di corrente supponsi circolare intorno alle viscere del metallo magnetico.

Non vorrei illudermi, ma tale è la fiducia inspiratami da questa distinzione, che poco dovrebbe tardarsi a renderla inconcussa per la via di qualche esperienza diretta. E spingendo più oltre la presunzione, chi sa che colla combinazione di varie calamite fatte girare nel modo conveniente non si pervenga a trarne luce, e luce da imitare qualche grandioso fenomeno? . . .

Fenomeni del sig. Arago.

Questi fenomeni possono ottenersi tanto coi cilindri elettro-dinamici, quanto colle calamite ordinarie. Noi parleremo indifferentemente degli uni e delle altre senza punto curarsi delle piccole differenze ch'esistono nel modo d'agire delle due specie di magnetismo. Sono già note tali differenze, e si sa come in grazia loro il sig. Ampère adottasse per le calamite l'idea piuttosto di correnti che circolano intorno alle singole particelle, che l'altra d'una circolazione in massa d'intorno ad un solo asse. Ma qui si tratta d'un'altra classe di fatti dove non apparisce il bisogno d'una tale preferenza. Si può dunque, in questa classe, considerare a dirittura le calamite come altrettante spirali elettro-dinamiche senza incorrere in veruna sorte d'inconvenienti.

I fenomeni del sig. Arago si riducono a tre; consiste il primo nella tendenza dei poli magnetici ad essere strascinati nel movimento di rotazione impresso a dischi su cui insistono; il secondo nella ripulsione che i poli medesimi soffrono dal basso in alto; il terzo nell'essere questi attratti verso il centro del disco quando vi si trovano in una certa vicinanza, respinti al contrario verso la circonferenza quando sono più lontani.

1.° Fatto. *Tendenza al movimento di rotazione.*

Abbiasi in OE (fig. 52) un disco di rame, orizzontale, e che giri nel senso delle freccie R, R' sotto l'influenza d'un ago o cilindro magnetico collocatovi sopra verticalmente. Sia *nord* il polo che guarda il disco, ed *rz* il cerchietto che ne rappresenta la proiezione sul disco medesimo.

Già si sa come girano le correnti su questo polo; girano

come si vede in *abcd* (fig. 45). La corrente indotta sul disco è dunque nel senso delle freccie *rz*. Ma questa corrente eccitata come essa è, sopra una materia perfettamente conduttrice si propaga, a guisa della scarica d'una pila, dall'una e l'altra parte egualmente, abbracciando tutta la superficie del disco, e compiendovi que' circuiti che si veggono approssimativamente indicati dalle linee punteggiate della fig. 52.

Poco importa di scrupoleggiare sul contorno preciso di queste curve; ciò che importa di sapere si è; 1.° che que' circuiti esistono, realmente, come si prova con facilità, scandagliandoli coi fili del galvanometro; 2.° che i due circuiti sono patentemente contrarii, e tali che mentre l'uno, quello d'intorno ad *n*, è opposto al giro *abcd* del polo nord, l'altro d'intorno ad *s* si compie nel medesimo senso di questo; 3.° infine che supposti *n*, *s* essere i punti, i centri d'azione dei due contrarii sistemi, si ha in *n* un centro che respinge il polo N, ed in *s* un centro che l'attrae. L'una e l'altra forza tende a mover l'ago dalla stessa parte, e tal parte appunto è quella della rotazione del disco (1).

Mi servii altrove dell'espressione di *doppio magnetismo* per indicare questo curioso fenomeno (pag 216). La frase mi sembra giusta e merita forse d'essere conservata alla scienza. A che si risolve infatti l'uffizio d'un polo magnetico al disopra d'un disco ruotante se non che a seminare sul disco stesso le due specie di magnetismo, la specie amica *dietro a se*, sulle parti che fuggono da esso, e la nemica *dinanzi a se*, sulle parti che gli vengono incontro?

Questo doppio effetto è patentemente legato ad una condizione, che manca in un caso solo, quando cioè il polo magnetico insiste sul centro del disco. Quì non si ha più nè parte anteriore, nè parte posteriore: i raggi del disco sono tutti esposti egualmente alla forza induttiva del polo sovrapposto, la quale rinnova sopra di loro l'irradiazione della fig. 47: eccitamento che non può più imprimere all'ago magnetico alcun movimento, se l'elettricità si trova su que' raggi in istato di tensione e non già di corrente come si avvertì a suo luogo. Che se, contro la nostra opinione, l'elettricità vi esistesse nell'altro stato, sarebbe lo stesso ancora per l'ago, e ciò per un motivo che si dichiarerà più innanzi (2). Ad ogni modo è assai curioso il seguente esperimento, che mette in evidenza l'eccezione singolare di cui si parla.

Si sospenda un cilindro calamitato al disopra del centro d'un disco di rame; e poi si adatti al suo polo inferiore un cer-

(1) Questa spiegazione è identica a quella della prima nostra teoria (*Ant.* N.° 134).

(2) Nella prima nostra teoria si riputò nullo l'effetto, ritenendo nulla in quel caso l'induzione. L'induzione esiste distintissima, e quel paragrafo va corretto radicalmente.

chio sottile di ferro dolce, che per il suo piccolo peso vi rimanga attaccato naturalmente. O questo cerchio è ben centrato col cilindro, e questo non si move punto al girare del disco; od è un poco fuor di centro, e la rotazione comincia anche in esso.

2.° Fatto. *Ripulsione dal basso in alto.*

Questo fatto non esige altro per la sua spiegazione se non che il centro ripulsivo *n* sia più vicino dell' attrattivo *s* al polo magnetico projettato in N. Ora è questo un risultato che si giustifica facilmente col ragionamento, e che noi crediamo d'avere confermato col mezzo d'un'osservazione diretta. Lo giustifica il ragionamento, perchè risalendo alla causa che produce le correnti indotte *rz* in faccia d'un circuito elettro-dinamico ABCD (fig. 45), si vede ch'esse hanno da essere più vigorose presso di AB dove finisce l'induzione, che presso di CD dove comincia. L'induzione di AB si somma, è vero, con quella di CD; ma questa somma non si fa in un solo istante indivisibile, si fa in un tempo comunque corto, per cui la corrente che nasce presso a CD, arriva in AB con tutti i rinforzi che riceve cammin facendo (1).

L'argomento poi di fatto, che viene a conferma del raziocinio, consiste nell'osservazione seguente, che si trova anche registrata nel primo nostro lavoro sul magnetismo di rotazione (2). Si faccia girare un disco di rame sotto l'influenza dei due poli d'una calamita a ferro di cavallo collocativi sopra simmetricamente come indicano le projezioni N', S' (Fig. 54). Si esplori il disco col solito mezzo de' fili del galvanometro, e si troverà bensì che il corso delle correnti riesce prossimamente quale lo mostra la disposizione simmetrica delle freccie, ma che realmente l'un sistema deve guadagnare sull'altro scavalcando la linea centrale NS; perchè gli scandagli galvanometrici collocati l'uno al centro e l'altro alla circonferenza, presentano lo stesso risultato nullo sopra un diametro XY obbliquo ad N' S', e non già sopra l'altro OE perpendicolare ad NS, come pur sarebbe necessariamente se non vi fosse una causa che turbasse ne' due opposti circuiti *n n n* . . ., *s s s* . . . . . la simmetria della loro distribuzione.

3.° Fatto. *Presso al centro attrazione, presso alla circonferenza ripulsione.*

Questo scambio di movimento dipende dalla posizione dei due centri d'azione *n*, *s*, rispetto al polo magnetico projettato

(1) Il sig. Faraday tocca di volo la possibilità di questo ingrossamento di corrente. (*Mem. cit.* N.° 125).
(2) *Ant.* N.° 131.

in N. Nel caso contemplato dalla fig. 52 i punti *n*, *s* sono dalla parte del centro del disco, ed il polo N verso la circonferenza. In tale stato di cose il polo N è necessariamente respinto verso la circonferenza in grazia dell'eccesso di forza ripulsiva che domina sul centro *n*.

In questo caso la condizione del fenomeno risiede nella vicinanza del polo N alla circonferenza, la quale prossimità fa sì che l'induzione del polo non si estenda sensibilmente al di là del centro C, sulla materia *c c c*. Questa materia esercita allora la sola funzione di conduttore, ricevendo nel proprio seno le correnti che traggono la loro origine dall'altra parte del disco sotto il polo N. Rispetto a quest'origine la materia su cui si diffondono le correnti indotte, è quasi tutta dal lato del centro C, ed i centri d'azione *n*, *s* cadono necessariamente anch'essi in questa parte per trovarsi in mezzo ai rispettivi loro circuiti.

Avviciniamo ora il polo N al centro del disco, e vedremo ben presto i centri di azione *n*, *s* passare dal lato della circonferenza, come indica la fig. 53. Suppongasi infatti il polo N giunto così vicino al centro da non essere più, come prima, le parti *ccc* interamente garantite dall'influenza induttiva del polo N. Quella materia non è più puramente passiva, puramente conduttrice delle correnti che si sviluppano dall'altra parte sotto il polo N. Risente anch'essa lo stesso genere d'influenza, e però in grazia del suo movimento contrario a quello delle parti opposte *s n*, comincia a divenir sede di correnti contrarie ad *r z*, le quali si oppongono, dal proprio lato, alla diffusione di queste ultime. Se nell'avanzarsi del polo N verso il centro, non tendesse a cangiarsi dall'altro lato *ccc* il segno dell'induzione, egli è evidente che giunto il polo N sul giusto mezzo del disco, la diffusione delle correnti sarebbe eguale da amendue i lati, ed i centri d'azione *n*, *s* cadrebbero necessariamente sul diametro OE (fig. 52). Ma l'induzione cangia di segno, e le correnti *r z* che si formano in N non possono più dal lato opposto *ccc* diffondersi colla facilità di prima. Non resta ad esse di perfettamente libero che lo spazio *sn* verso la circonferenza, dove si diffondono più che altrove, concentrando colà la massima parte della loro forza. Sussiste però sempre la causa che assegna al centro ripulsivo *n* un eccesso di forza sull'attrattivo *s*, eccesso che spinge ora il polo N verso il centro, come prima (fig. 52) lo spingeva verso la circonferenza: giuoco di forze curioso e fin qui inavvertito, ma conseguenza necessaria delle leggi dell'induzione elettrodinamica (1).

(1) Questa spiegazione parte dallo stesso principio che si adottò nella prima teoria, e che consiste nell'eccesso di forza accordato al centro ripulsivo *n*. Vi ha però una differenza nell'applicazione del principio ed è che ritenevasi prima che

Modo d'imitare il magnetismo di rotazione.

Nel 1821, un anno dopo la scoperta d'Oersted, il sig. Faraday riuscì, per il primo, a far girare un conduttor mobile d'intorno ad una calamita fissa, e viceversa una calamita mobile d'intorno a un conduttor fisso. L'apparecchio di quest'ultima rotazione, che interessa ora il nostro oggetto, è semplicissimo. Consiste esso in un vaso di vetro VV (fig. 55) pieno di mercurio, sul quale si fa discendere un filo conduttore *zc* dopo di avervi immerso un cilindro calamitato *ns*, reso galleggiante con un contrappeso di platino *p*. Mentre il filo *zc* comunica al polo d'una pila, il mercurio del vaso comunica all'altro con un secondo filo *rr*, e la calamita *ns* gira senz'altro d'intorno al conduttore *zc*.

Secondo il sig. Faraday gli aghi magnetici che girano sopra i dischi del sig. Arago costituirebbero un fenomeno della stessa natura di questo (1). A mio avviso la cosa è ben differente, così differente che l'un fenomeno non si può imitare colle risorse dell'altro senza introdurvi una nuova condizione. Mi spiego. Un disco che gira sotto l'influenza d'un polo magnetico, va considerato giusta le idee del sig. Faraday, come la sede di correnti che s'irraggiano dal centro alla circonferenza, e sono queste correnti che nel passare sotto al polo magnetico, determinano l'ago alla rotazione in virtù della forza colla quale lo spingono alla destra od alla sinistra secondo le circostanze. Se tale fosse la causa del fenomeno, nulla di più facile che l'imitarlo sopra un sistema di correnti raggianti dal centro alla circonferenza d'una massa metallica. Si prenda per esempio un imbuto di metallo MM (fig. 56); si collochi verticalmente e si chiuda con mastice all'estremità superiore per modo da contenere uno strato di mercurio, che vi si versa dentro. Attraverso il mastice, e lungo l'asse dell'imbuto passi poi un filo metallico *zc* che arrivi sino al centro del mercurio, per essere con esso in contatto metallico; si faccia in fine comunicare il filo centrale *zc* col polo positivo d'una pila, e l'estremità *r* dell'imbuto col polo negativo, e si avrà sullo strato di mercurio quell'irradiazione di correnti dal centro alla circonferenza, che dovrebbe, secondo il sig. Faraday, far ruotare un ago magnetico *sn* convenientemente sospeso e bilanciato al di sopra dell'apparecchio. Ora è fatto ben sicuro che l'ago magnetico non concepisce in quella circostanza alcun movimento.

le parti centrali del disco divenissero all'avvicinarsi del polo N, inattive per non esservi induzione, mentre ora divengono tali per la specie d'equilibrio che si stabilisce fra due induzioni contrarie. Il risultato finale è lo stesso; ma la causa, come si vede, è differente.

(1) *Mem. cit.* 121.

Si può per altro farlo girare, mettendo in opera il seguente artifizio. Si lascia sussistere il filo centrale *zc* che conduce la corrente sul centro del mercurio. Si distacca l'altro filo *rr* dall'estremità dell'imbuto, e si mette pur esso in diretta comunicazione col mercurio tuffandovelo dentro presso all'orlo dell'imbuto e nella direzione del raggio *cr'* che contiene la projezione dell'ago *sn*. All'atto stesso in cui si fa una tale immersione, l'ago *ns* fa un picciol passo verso la dritta, ma non va più oltre se non si move il filo *r' r'* dal luogo dove fu immerso. Che se invece di tener fisso questo conduttore, si segue con esso il primo impulso ricevuto dall'ago, in guisa da rinnovare continuamente sotto di questo l'azione di prima, in allora l'ago riceve ad ogni momento una nuova spinta dallo stesso lato, e gira insieme col filo *rr*, che lo accompagna ad ogni suo passo. Che se in questo accompagnamento si avrà cura che il filo *r' r'* avanzi d'un tantino il movimento dell'ago, quest'ago sarà anche spinto all'insù come nel II fenomeno d'Arago.

Tale è il modo d'imitare il magnetismo di rotazione; imitazione però che non arriva al segno di riprodurre il 3.° fenomeno del sig. Arago; e che dipendendo necessariamente da una condizione estranea alla rotazione elettro-magnetica, non può a nostro avviso paragonarsi con quest'ultima, la quale riesce completamente senza che la corrente raggiante *c r* (fig. 55) accompagni la calamita *ns* sul suo movimento (1).

Non chiuderemo poi questa digressione senza riempiere la lacuna che lasciammo all'occasione che si trattò del caso speciale in cui cessa la rotazione del sig. Arago. Questo movimento riesce dapertutto fuorchè quando il polo magnetico insiste sul centro del disco. In questo caso ha luogo sul disco l'irradiazione della fig. 47, e delle due supposizioni, l'*elettro-statica* o *l'elettro-dinamica*, che si possono fare relativamente alla natura di quell'induzione, si disse che la prima era naturalmente senza effetto sull'ago, e rispetto alla seconda s'aggiunse che ritornava egualmente nulla l'azione per un motivo che si sarebbe dichiarato più innanzi. Ecco ora un tale motivo reso evidente dall'irraggiamento di correnti che si ottiene sull'imbuto MM (fig. 56) il quale irraggiamento com'è senza effetto sull'ago eccentrico, lo è parimente sull'ago centrale.

(1) La teoria matematica del sig. Ampère fissa nettamente le condizioni, sotto le quali è possibile un movimento continuo, od impossibile. Conforme ai risultati dell'esperienza, tali condizioni si verificano nella disposizione del vaso VV (fig. 55); non si verificano nell'altra dell'imbuto MM (fig. 56). Era questo un punto di dottrina da notarsi come facciamo, ma non da introdursi nel testo dove la nostra marcia doveva proceder per via di soli esperimenti.

Digitized by Google

Oscillazioni magneto-elettriche

Un ago magnetico che oscilla sopra un disco di rame, rallenta e perde il suo movimento molto più presto che non fa oscillando fuori dell'influenza di quel disco. È questa, come si sa, l'osservazione fondamentale, che aperse al sig. Arago la via del magnetismo di rotazione.

Al punto in cui siamo, ci resta ben poco a dire intorno a queste oscillazioni. Il loro ritardo è infatti la conseguenza la più evidente delle due specie di magnetismo che i poli magnetici seminano sul disco nelle loro escursioni d'andata e ritorno. Quando il disco è in movimento sotto il polo d'un ago, questo polo diffonde dietro a sè il magnetismo amico che lo attrae, e dinanzi a sè diffonde il magnetismo nemico che lo respinge. È questo il caso ordinario dei dischi ruotanti (fig. 52.). Quando è l'ago che si move, sia oscillando, sia altrimenti, succede l'effetto inverso: la parte anteriore diventa posteriore, e viceversa: il polo semina dietro sè il magnetismo amico che coll'attrazione lo rallenta nel suo corso, come semina dinanzi a sè il magnetismo nemico che colla propria ripulsione concorre anch'esso a rallentarlo di più. Questa specie di resistenza è così notabile, che cominciando la osservazione da oscillazioni molto ampie come sarebbe una di 40 o 50°, queste oscillazioni veggonsi ridotte, dopo due o tre escursioni, all'ampiezza di pochi gradi, mentre eseguite fuori dell'influenza del disco di rame non avrebbero perduto tutto quel movimento che dopo venti o trenta escursioni.

Non bisogna per altro confondere il tempo delle oscillazioni colla loro ampiezza. L'ampiezza cangia di molto, il tempo invece pochissimo per la ragione del compenso che vi ha fra gli spazi percorsi e le velocità perdute. Non accade qui nulla di nuovo, il ritardo che gli aghi magnetici soffrono nelle loro oscillazioni al disopra di un disco metallico, potendo sempre paragonarsi a quello cagionato da un mezzo resistente, e valutarsi però secondo le note leggi di meccanica.

Toccheremo egualmente di volo i metalli magnetici. Questi sono, al pari de' metalli non magnetici, soggetti alle induzioni elettro-dinamiche, e lo sono senza perdere nulla della loro prima virtù. Un polo magnetico che si avvicini a un disco di ferro coperto di limatura dello stesso metallo produce il noto effetto di attrarre quella limatura in modo da sollevarla a raggi verso di sè. Non occorre altro per sapere sin dove s'estende sensibilmente la forza magnetica di quel polo. Ciò posto si faccia oscillare lo stesso polo al disopra di quella medesima limatura, e si osservi come questa si alzi sui luoghi che si presentano al polo, e come si abbassi sui luoghi trapassati. Questi movimenti spie-

gano chiara la legge colla quale il ferro riceve e perde il magnetismo ordinario infusogli da una calamita in movimento. Questo magnetismo è poi tutto dello stesso nome; di due nomi contrarii invece l'altro che si sviluppa per opera dell'induzione elettro-dinamica. Tre dunque sono le polarità magnetiche che si sviluppano sul ferro in movimento, le due contrarie dell'induzione, distribuite sopra due regioni distinte, l'una dietro, e l'altra dinanzi al polo in movimento, la terza del magnetismo ordinario, disseminata sopra amendue le regioni, dove aumenta in una l'effetto, nell'altra lo diminuisce: diminuzioni ed aumenti che variano secondo le circostanze del movimento, e massime secondo le condizioni relative alla *forza coercitiva*, debole nel ferro dolce, mediocre nell'acciaio non temperato, grandissima in fine su quest'ultimo temperato. In mezzo al giuoco di tante forze e resistenze il fenomeno si complica in un modo non indifferente; ma non introducendosi nella questione nuovi elementi bastano per essa i principii stabiliti.

Conclusione.

I fenomeni elettro-dinamici sono, nella teoria del sig. Ampère, ridotti a un solo principio, all'attrazione o ripulsione che manifestano le correnti voltaiche secondo che vanno per lo stesso verso o per contrario. *Le induzioni elettro-dinamiche*, questa nuova classe di fatti, che parte dall'elettro-dinamica, e vi ritorna, dirò così, dopo d'avere percorsa una via particolare, tutta sua, reclamava, io credo, una dottrina modellata su quella del sig. Ampère. Ne' fenomeni elettro-dinamici le questioni più complicate si riducono all'azione di due fili voltaici: nell'induzioni elettro-dinamiche gli elementi della quistione si riducono allo stesso grado di semplicità, a due fili, percorso l'uno da una corrente elettrica, e l'altro in movimento.

Il lavoro originale del sig. Faraday si compone di due parti, comunicate l'una dopo l'altra, alla Società Reale di Londra (1). Nella prima egli annuncia alcune idee che modificò nella seconda, dove spiega chiaramente il suo modo di vedere. Un sistema elettro-dinamico qualunque, complicato come una calamita, o semplice come un filo voltaico ha d'intorno a sè le sue *curve magnetiche*, quali le indica la maniera colla quale la limatura di ferro si dispone e si calamita intorno ad essi. Tali curve sono traversate dal metallo in movimento, ed è in tale tragitto che si generano le correnti indotte, perpendicolarmente alla direzione del movimento.

Io pure aveva fatto ricorso fino dal 1824, alle curve magnetiche per ispiegare i fenomeni dell'elettro-magnetismo, coor-

(1) La prima il 24 novembre 1831; la seconda il 12 gennaio 1832.

Digitized by Google

dinandoli tutti d'intorno alla disposizione che la limatura prende sopra le calamite (1). Ma questa maniera di vedere è, dirò così, più materiale, ma meno filosofica di quella del sig. Ampère la quale ha già ricevuto l'assentimento generale, e con tutta la ragione perchè non pregiudica in alcun modo le ricerche da farsi, e si serve degli elementi della questione, puri e semplici quali gli offre l'esperienza. Oltre a ciò dee valutarsi, in questo metodo, un altro vantaggio, ed è che i fatti guardati sotto quell'aspetto si prestano più facilmente al calcolo. Il sig. Ampère fisico e geometra egualmente distinto, ha colla sua teoria fisico-matematica, riempiuta una delle più grandi lacune ch'esistessero nella scienza. Le induzioni elettro-dinamiche reclamano adesso la sorte dell'elettro-magnetismo, e prima che da altri, la reclamano da chi si trova già avanzato nel cammino, e può proseguirlo con rapido successo fra l'opulenza de' mezzi e delle acquistate risorse. Se il sig. Ampère cede, come giova sperare, a questo voto, l'elettro-dinamica per induzione avrà pur essa, e presto la sua teoria matematica, ed egli il doppio vanto di amendue le applicazioni.

NOTA

SULLE AVVERTENZE DA USARSI NELLE ESPLORAZIONI GALVANO-METRICHE.

È da parecchi anni in uso il metodo d'esplorare la direzione e la forza delle correnti elettriche col mezzo de'fili del galvanometro. Il sig. Becquerel aveva praticato un tal metodo per vedere se la corrente delle pile si manteneva sui fili congiuntivi d'egual forza dappertutto, oppure variava da un punto all'altro (2). Il sig. De-La-Rive se ne era anch'egli servito sopra grandi masse di liquido introdotte ne' circuiti voltaici per riconoscere se la corrente si diffondeva o no per tutte quelle masse. Io medesimo fui fra i primi ad impiegarlo in una serie d'esperienze elettro-fisiologiche, intraprese a bella posta per vedere se vi era traccia di corrente in qualche organo animale o vegetabile (pag. 7). In questi ed altri consimili casi le indicazioni galvanometriche sono conformi al principio della diffusione della corrente per tutte le vie conduttrici che le si presentano cammin facendo. Abbiasi per esempio sopra un filo F *f* (fig. 57) incanalata una corrente elettrica che derivi da una sorgente qualunque, una pila, p. e., *rz*; e siano A, B i punti in cui sono applicate le estremità A*a*, B*b* del galvanometro. La corrente arri-

(1) Vedi più innanzi lo spirito di questa dottrina, esposta brevemente negli *Articoli sul magnetismo* estratti dall'opuscolo *Questioni sul magnetismo* (Modena 1824).

(2) *Annales de Chimie et Physique*. Tom. 32, p. 428 1826.

Digitized by Google

vata in A trova due vie per proseguire in B; una molto corta la AB, l'altra assai più lunga del circuito del galvanometro. Con tutto ciò una piccola porzione di corrente passa anche per il lungo cammino, montando per A*a*, e discendendo per B*b* dopo d'aver percorso tutti i giri del moltiplicatore, e prodotto qui il solito effetto di deviare l'ago magnetico dalla sua posizione. Sin qui non accade nulla di nuovo, ed il linguaggio del galvanometro non può essere interpretato che ad una sola maniera, indicando in AB la continuazione della corrente FA. Che se invece d'avere in AB una porzione di filo soltanto conduttrice, risiedesse ivi tutta o parte della forza elettro-motrice, in allora il filo del galvanometro, applicato come sopra in A e B, diverrebbe un secondo filo scaricatore che condurrebbe la corrente del polo positivo al negativo, montando questa per B*b* e discendendo per A*a*, come si vede indicato sui fili B' *b*, ed A' *a*' collocati al di qua e al di là della pila *rz*. La corrente ha di certo la medesima direzione in AB come in A'B', ma i risultati del galvanometro sono inversi, perchè inverso il modo con cui conducono la corrente ne due' casi. Bisogna dunque distinguere: o gli scandagli comprendono nel loro intervallo la parte *attiva* del circuito, l'elettro-motrice, o non la comprendono: nel primo caso servono a dirittura da scaricatori, e la corrente monta per il filo positivo, e discende per il negativo: nel secondo caso gli scandagli entrano nel circuito per semplice diramazione di corrente; perdono il nome di positivo e negativo, e per indicare la stessa direzione di corrente hanno da dare un risultato inverso di prima.

Nei dischi del sig. Arago la forza elettro-motrice esiste sotto ai poli magnetici nella direzione del raggio: i fili del galvanometro fanno qui l'uffizio di scaricatori; nelle altre parti servono da conduttori. Senza una tale distinzione è facile di cadere in qualche errore, e scambiare il corso effettivo d'una corrente nel suo contrario.

Dal Museo li 10 novembre 1832.

Digitized by Google

SULL' AZIONE CHIMICA

DEGLI

APPARATI MAGNETO-ELETTRICI

DEI SIGNORI

L. Nobili e V. Antinori.

Il sig. Pixii a Parigi, ed il sig. Botto a Torino hanno ultimamente ottenuta la decomposizione dell'acqua col mezzo del magneto-elettricismo. Quest'ultimo si è servito a dirittura della nostra calamita elettrica montata al modo ordinario, coll'ancora cioè che si attacca e distacca dalla calamita con un movimento di *va* e *vieni*. Il sig. Pixii ha fatto uso del suo apparecchio, che è anch'esso una calamita elettrica, dove il pezzo di ferro dolce a cui è avviluppata la spirale è fisso, e mobile invece la calamita che gira sotto l'altro pezzo con un movimento continuo (1). In qualunque caso le estremità della spirale sono condotte, nei modi consueti, entro il liquido dell'esperienza, il quale comincia a decomporsi tosto che si mette in azione l'apparecchio. Nel caso dell'acqua ciascuno de' due fili somministra l'uno e l'altro gaz. L'elettricità ordinaria decompone, com'è noto, all'istesso modo se non in sostanza almeno in apparenza. L'elettricità voltaica separa invece gli elementi, trasportando l'idrogene al polo negativo, e l'ossigeno al positivo. Di qui la necessità d'analizzare il fatto prima di vedere delle analogie dove forse non ci sono.

Le correnti che si hanno dalla calamita elettrica sono di

(1) Questa disposizione merita elogio, ed ha certi suoi vantaggi particolari. Ma bisogna ricordarsi che la più gran parte dell'effetto ha luogo, quando i due pezzi, l'ancora e la calamita, arrivano all' *immediato contatto*. Il più piccolo intervallo che si lasci fra loro, è capace di ridurre l'azione alla terza od alla quarta parte. La forza della calamita elettrica del Museo, che è di 25.° del galvanometro comparabile, si riduce a soli 10 o 11.° quando si frappone un cartoncino della grossezza appena di 0,8 mil. fra l'ancora e i poli. Nella tavola delle intensità la corrente di 25.° è poi espressa dal numero 97,67 e quella di 11.° da 15,33, che non arriva alla sesta parte dell'altro valore (Vedi la *Tavola dell' Intensità* alla pag. 133.). È questa, come si vede, una perdita troppo forte per non sottomettervisi, che in qualche caso particolare, conservando per tutti gli altri la prima nostra idea dell'attacco e distacco dell'ancora. Converremo però d'un perfezionamento da farsi alla nostra calamita, ed è di servirsi d'un movimento continuo per avere l'altro del *va* e *vieni* dell'ancora, più regolare e più sollecito; aggiunta ben facile e che stiamo già eseguendo. (Vedi il vol. II.° all'articolo *Calamite elettriche*).

Digitized by Google

loro natura intermittenti e contrarie: la corrente dell'*attacco* dell'ancora va per un verso; quella del *distacco* va dalla parte opposta. La prima esperienza da farsi è dunque di separare l'una corrente dall'altra per decidere qual sia la parte che ha ciascheduna di esse alla decomposizione (1).

Prima di pensare a un apparecchio permanente abbiamo eseguita l'esperienza in un modo provvisorio, quale si è quello di operare in due persone, l'una che attacchi e distacchi l'ancora, dalla calamita; l'altra che interrompa, in uno dei due tempi, le comunicazioni col liquido da decomporre, per ristabilirle nel tempo successivo. Operando sul mercurio si perviene facilmente, dopo un breve esercizio, allo scopo ideato, che è d'introdurre nel liquido una sola delle due correnti contrarie, soppressa l'altra coll'aprire il circuito al momento opportuno. L'effetto che ne risulta da questo modo d'esperimentare, non è punto dubbioso, nè tale da farsi attendere in circostanze favorevoli. L'acqua da decomporre sia per esempio leggermente acidula, ed i fili immersi in essa non sieno, come si suole, di platino, ma d'un metallo facilmente ossidabile com'è il rame o il ferro: si vede allora da uno solo di questi fili svilupparsi le bolle di gaz idrogeno, mentre si svolgono da amendue tosto che, cessato il giuoco dell'interruzione, si permette alla corrente soppressa d'entrare nel liquido, e d'agire su di esso la volta che le tocca (2).

Quest'esperienza interessava sotto due punti di vista. Bisognava prima di tutto assicurarsi che le correnti magneto-elettriche decompongono alla maniera delle voltaiche, trasportando gli elementi elettro-positivi da una parte, e gli elettro-negativi dall'altra. Era in secondo luogo degno d'attenzione l'osservare sino a qual segno poteva spingersi, nel giuoco dell'apparecchio, l'intermittenza senza compromettere l'effetto della decomposizione.

Fra le idee che si hanno comunemente sull'elettricità delle macchine ordinarie, vi è pur quella che ci fa considerare quell'elettricità così poco atta, com'è, alle decomposizioni chimiche, in grazia della sua fugacità ed intermittenza. Ora non fa egli sorpresa il vedere come le stesse difficoltà non si riproducano in faccia delle correnti magneto-elettriche, che sono pur esse così fugaci ed interrotte? Non resta che un espediente, ed è di ritenere quest'ultime correnti meno istantanee di quelle dell'elet-

(1) La prima idea di separare i due effetti si deve, io credo, al Prof. Marianini, il quale fu anche il primo ad ottenere dalle nuove correnti qualche indizio d'azione chimica. (*Annali del Regno Lombardo Veneto*. Anno 1832 Bimestre III.).

(2) Per avere riuniti tutti i vantaggi sopra un solo apparato, al perfezionamento indicato nell'altra nota si sta aggiungendo un meccanismo appropriato all'oggetto di quest'esperienza: aggiunta che servirà poi ad altri usi. (Vedi il volume II.° all'articolo *calamite elettriche*).

tricità ordinaria; e per verità hanno bene da durare un poco più per produrre gli effetti galvanometrici che mancano nell'altro caso.

Una calamita che giri sopra il proprio asse, sviluppa le correnti per induzione, e queste correnti non cangiano direzione, sinchè non cambia il verso della rotazione. Sono anche continue per quanto si può giudicare dal galvanometro, il cui ago prende, sotto la loro influenza, una posizione fissa dall'uno o dall'altro lato.

In vista di queste condizioni, che sembravano le più adattate per ottenere le decomposizioni chimiche, abbiamo montato sopra uno dei torni del Museo due lunghe e grosse barre calamitate, formanti insieme un parallelepipedo di 20 pollici di lunghezza e largo per un verso 20 linee, e 15 per l'altro. Questa calamita, messa in rotazione, ci ha dato delle correnti della forza di 3 a 4.° del galvanometro comparabile, estraendole dall'equatore e da uno de' poli. Questa forza è tutt'altro che debole: essa è già tale da non misurarsi più coi galvanometri a due aghi molto sensibili. Fatta passare la corrente attraverso de' liquidi, si è osservato ch'essa non si estingue del tutto, ma che s'indebolisce grandemente: circostanza funesta al successo della decomposizione. Esperimentandola infatti sotto questo punto di vista non abbiamo potuto accorgerci sin quì d'alcun sensibile effetto. Ma la corrente passa, sebbene a stento, per i conduttori umidi, e se li traversa non dubitiam punto che li decomponga. Li decomporrà lentamente come fanno le correnti debolissime d'altra origine; sicchè non resta, per quanto noi crediamo, che aumentare l'energia delle calamite e farle girare con molta rapidità, e lungamente per giungere a risultati apprezzabili.

Abbiamo eziandio esperimentato l'anello di ferro del sig. Faraday avviluppato da due spirali, destinata l'una, come si sa, a ricevere la corrente d'una pila, e l'altra a svolgere la corrente per induzione nei due momenti, in cui si chiude o si apre il circuito della pila (pag. 241). Le correnti indotte che si hanno da quest'anello, sono fortissime potendosi facilmente spingere agli 80 e 90° coll'azione di pile d'una forza discreta (1). Siffatte correnti producono una decomposizione abbondante, com'era da aspettarsi; ma ciò che vi ha di singolare, si è che quelle correnti ridotte alla forza di 20 a 30.° non danno più segni sensibili di decomposizione, mentre questo risultato è così sollecito e distinto colle correnti d'egual forza tratte dalle calamite elettriche. Confrontati però gli apparecchi al galvanometro si è visto d'onde procede una tale singolarità. Si è infatti osservato che le cor-

(1) Una pila di 8 elementi di 14 pollici di superficie è già sufficiente per portare la forza della corrente dai 50 a 60.°

renti dell' anello del sig. Faraday sono gagliardissime sinchè si mantengono sulla via metallica, ma tosto che si costringono a passare pei conduttori umidi, perdono, in proporzione, assai più che non fanno le correnti delle calamite elettriche; il che vorrà dire che queste calamite posseggono, a corrente eguale, una *tensione* maggiore di quella dell' altro apparato.

Dopo questo si può conchiudere; 1.° Che le decomposizioni operate dalle correnti magneto-elettriche sono simili a quelle della pila, che trasporta gli elementi elettro-positivi da una parte, e gli elettro-negativi dall' altra.

2.° Che per la decomposizione è sempre necessario che le correnti elettriche uniscano alla condizione d' una certa continuità l' altra pure d' una velocità o tensione tale da non essere arrestate dai conduttori umidi.

3.° Infine che fra i nuovi apparati la nostra calamita elettrica è quella sinora dove le indicate due condizioni sembrano le meglio soddisfatte (1).

Dal Museo li 15 Novembre 1832.

(1) Vedi nel II.° Vol. all' articolo *Calamite elettriche* il *confronto* dell' ultimo nostro apparato con quello del sig. Pixii.

Digitized by Google

ARTICOLI

SUL

MAGNETISMO (*)

I

Sul modo, con cui si diffonde il magnetismo intorno alle calamite.

La disposizione che la limatura di ferro prende d'intorno alle calamite, non costituisce essa quel fatto che spiega meglio d'ogni altro il modo con cui la virtù magnetica si propaga al di fuori de'corpi che la posseggono? Credo che sì: si studii dunque una tale simmetrica distribuzione, ma si studii a poco a poco per tenere il più che si può distinte le molte particolarità, che in se contiene un così interessante fenomeno. Per cominciare dalle vicende più semplici si fissi lo sguardo sulle Figure 58 e 59 della Tav. V.

N S (*Fig.* 58) è un cilindro calamitato, che si suppone, per solo motivo di semplicità, in posizione orizzontale, e rivolto col polo nord verso il settentrione.

N'S' è la traccia d'un piano verticale che passa per l'asse del cilindro calamitato e lo divide in due parti eguali; l'una *occidentale*, la SooN; l'altra *orientale*, la SeeN.

O E' è la traccia d'un altro piano verticale ad angolo retto col primo, e che passa per l'equatore OE del cilindro. Anch'esso divide il cilindro in due parti eguali; l'una *boreale* la ONE, e l'altra *australe*, la OSE. Queste parti si chiamano ordinariamente *braccia*.

QP è un piccolo cilindro di ferro non calamitato destinato a scorrere perpendicolarmente sul contorno O N E S O con una delle sue basi P, affine di esplorare sull'altra Q la specie e forza del magnetismo, che si sviluppa dal cilindro NS nelle diverse sue parti.

La Figura 59 rappresenta questa esplorazione dalla quale si raccoglie quanto segue;

1.° Che l'asta QP si calamita in tutti i punti del contorno O N E S O, tranne le due posizioni equatoriali OO', EE' dove si conserva nel suo stato naturale.

2.° Che il magnetismo, trasfuso dalla calamita N S sull'asta Q P è boreale sul braccio boreale O N E, australe sul braccio au-

(*) Estratti dalle *Questioni sul Magnetismo* (Modena 1824).

strale OSE; cosicchè nell' estremità n', n'', n''' . . . si riscontrano altrettanti poli *nord*, come sulle estremità s', s'', s''' . . . si riscontrano altrettanti poli *sud*. Siffatte polarizzazioni meritano un nome, con cui indicarle brevemente: non saprei proporne un più adattato di quello di *polarizzazioni di consenso*.

3.° Che queste *polarità di consenso* crescono di vigore dall' equatore OE alle estremità N, S; come crescono a un dipresso le ordinate alla curva che si vede punteggiata d'intorno al cilindro NS.

Sebbene complicata, è questa una legge ch' entra facilmente sotto il dominio di principj d' Ampère, secondo i quali una calamita può, generalmente parlando, essere rimpiazzata da un cilindro elettro-dinamico. In quest' ultimi sistemi l' elettricità gira sulle spire del filo voltaico avvolto intorno ad un' anima cilindrica; nella calamita l' elettricità gira invece intorno alle particelle del metallo magnetico, in piani perpendicolari all' asse delle calamite medesime.

Che cosa accade egli quando un filo voltaico ZR (fig. 60) passa al disopra d' un ago di ferro o d' acciajo? Lo calamita nel senso della corrente, convertendolo in una specie di cilindro elettro-dinamico *ns* che ha i suoi circuiti voltaici diretti, dal lato della corrente ZR, nel medesimo senso di questa; quasi che si trattasse d' un effetto puramente meccanico, d' un fluido cioè che girando sul filo ZR imprimesse un movimento, nella propria sua direzione, al fluido delle particelle magnetiche.

In grazia di questa corrispondenza siaci permesso, per amore di brevità ed anche per ajutare l' immaginazione, di chiamare talvolta *giri di consenso* i piccoli circuiti voltaici che si suppongono nascere entro le particelle del metallo magnetico sotto l' azione delle correnti elettriche.

Ripigliamo ora il nostro scandaglio QP (fig. 58), ed invece di farlo scorrere sopra un cilindro calamitato NS, replichiamo questa operazione sopra una spirale elettro-dinamica, di forma pure cilindrica, NS (fig. 61), per vedere com' esso abbia a calamitarsi nelle varie posizioni.

Cominciamo dal disporre il nostro scandaglio in P, sopra il mezzo OE della spirale; e quì vedremo subito ch' esso non si calamiterà punto trovandosi in mezzo a correnti che agiscono egualmente sopra di lui da parti contrarie.

Passiamo lo scandaglio in P', al disopra dell' equatore OE. Le correnti inferiori cresciute di numero prendono il sopravvento alle superiori che sono diminuite, e lo scandaglio si calamita nel senso delle correnti più forti, determinandosi dentro di lui il giro di consenso *abcd*, il quale diffuso per tutta la massa del piccolo scandaglio fa sì che la sua estremità superiore agisca come polo *nord* mentre l' inferiore, quella che appoggia sulla spirale, è costituita in polo *sud*.

Digitized by Google

Trasportiamo lo scandaglio più in sù: cresce l'eccesso delle correnti inferiori sulle superiori e con quest'eccesso cresce la calamitazione dello scandaglio, la quale arriva evidentemente al suo *maximum* quando lo scandaglio giunge in N sul prolungamento dell'asse della spirale; posizione in cui tutte le correnti della spirale tendono ad imprimere nel suo fluido interno, lo stesso movimento, lo stesso giro di consenso.

Al disotto dell'equatore OE nascono i fenomeni inversi. Come al disopra di questa linea la base dello scandaglio si trovava in mezzo a correnti ch'erano più forti dalla parte inferiore che dalla superiore, così al disotto l'eccesso di forza passa alle correnti superiori, e sulla base P dello scandaglio come sul rimanente della sua massa, si determinano i giri voltaici *a'b'c'd'* i quali, andando in senso contrario dei giri *abcd*, introducono in esso il magnetismo inverso. Al disopra di OE la base P dello scandaglio si costituiva in polo *sud*, e l'estremità Q in polo *nord*: al disotto di OE la base P diventa polo *nord*, e l'estremità Q polo *sud*.

Per l'intensità dell'effetto si rinnova poi qui la legge dichiarata per il braccio superiore, vale a dire che il magnetismo va crescendo sullo scandaglio a misura che s'allontana dall'equatore OE, e s'avvicina alla posizione del *maximum* che è la centrale.

Questi risultati corrispondono esattamente a quelli prodotti dal cilindro calamitato NS (fig. 58) e resta ben poco da aggiungere per arrivare al segno che ci eravamo prefissi, di renderci cioè ragione del modo con cui la limatura si dispone intorno alle calamite, per fare poi servire questa medesima disposizione alle ricerche sul magnetismo.

La disposizione di cui si parla, è rappresentata nella fig. 62, dove si vede ciascun polo circondato da una specie d'irraggiamento, che conviene distinguere in tre parti; 1.° ne' raggi *obliqui* $p'n'$, $p''p''$, . . . $p's'$, $p''s''$, . . .; 2.° ne' raggi N*n*, S*s* *perpendicolari* all'asse; 3.° ne' raggi *centrali* N*n'*, S*s'* situati sul prolungamento dell'aste.

Tutti questi raggi di limatura rimangon attaccati alla calamita con una certa forza, e questa forza deriva dalla stessa causa che li calamitò, che li convertì cioè in altrettanti cilindri elettrodinamici, appoggiati con una delle loro basi al fusto principale NS, che è desso pure una specie di cilindro elettro-dinamico. *Le correnti che vanno per lo stesso verso, s'attraggono, e le contrarie si respingono.* Son queste le due leggi fondamentali dell'elettro-dinamica, e che hanno un'immediata applicazione al caso nostro, dove non si tratta d'altro che di questo genere d'azioni. Le correnti circolari della calamita determinano ne' raggi di limatura delle altre correnti circolari, ma le determinano nel proprio senso, motivo per cui le attraggono immediatamente. Esi-

stono per certo, in que' circuiti, de' rami di corrente che vanno da contraria parte e si respingono; ma questi ultimi non sono così attivi come i primi, ai quali resta un sopravvento più o meno grande secondo la posizione che si esamina. La legge che vale per l'intensità del magnetismo infuso ne' raggi di limatura, vale eziandio per la forza colla quale rimangono essi attaccati al cilindro; massima sui raggi centrali NN',SS' e minima sui raggi obliqui *p'n'*, . . . *p's'* . . .

Il voltarsi poi che fanno i raggi di limatura a misura che si scostano dal posto centrale, è pur esso una conseguenza delle stesse leggi d' Ampère. In NN' come in SS' il raggio deve naturalmente fissarsi sul prolungamento dell'asse NS, essendo attratto egualmente da tutte le parti del cilindro elettro-dinamico (fig. 61). Fuori di tale posizione, l' attrazione si fa più forte da un lato che dall' altro, ed i raggi si piegano a poco a poco sino al segno di divenire, sull' equatore OE, paralleli all' equatore medesimo, come si spiegherà più chiaramente in seguito.

II.

Sull' azione reciproca delle calamite.

Sinchè si hanno i poli eteronomi S, N' (*Fig.* 63) di due cilindri calamitati SN, S'N' in presenza l'uno dell' altro, e si veggono attrarre in guisa da congiungersi insieme, può a dirittura registrarsi un tale fenomeno sotto la legge amperiana = *le correnti che vanno per lo stesso verso s'attraggono* = Basta infatti guardar le freccie, che segnano le direzioni delle correnti circolari in ciascuna delle due calamite SN, S'N' per vedere in quelle correnti, che vanno evidentemente dalla stessa parte, verificarsi la condizione imposta dalla suddetta legge. Egualmente quando, col rovesciare l' una delle due calamite, pongonsi in faccia i poli omonomi S, S', oppure gli altri due N, N' (*Fig.* 64) e si trova che le calamite si sfuggono reciprocamente, può questa fuga attribuirsi immediatamente all' altra legge = *le correnti che vanno da parti contrarie si respingono* = perchè in allora le correnti circolari delle due calamite marciano per contrario, appunto come esige la legge. Ma le calamite non si attraggono e respingono soltanto allora che si guardano più o meno direttamente: si ricercano e si sfuggono anche di fianco; e ciò che l' esperienza insegna a questo riguardo si è che = *le braccia eteronome si attraggono in tutti i punti del loro contorno, come in tutti i punti del proprio circuito si respingono le omonome* = Questo canone, come si vede, abbraccia tutte le combinazioni; ma come concepirlo in tutta la sua estensione col semplice soccorso delle due leggi che si adattano così naturalmente al caso delle Fig. 63 e 64?

Supponiamo p. e. d'avere due calamite disposte in guisa, che il braccio australe OSE (*Fig.* 65) si trovi nel modo indicato dalla figura, a fianco del braccio boreale O'N'E' della seconda. In questo caso le due braccia si attraggono e congiungono insieme: eppure osservando il corso della circolazione nelle due calamite SN, S'N' si vede che mentre le correnti circolari del primo cilindro SN discendono pel lato orientale E*e*, le altre di faccia appartenenti al secondo cilindro SN montano pel lato occidentale O'*o*'; sicchè questo parrebbe piuttosto un caso di ripulsione che di attrazione.

Questa obbiezione, come ben sanno i fisici, fu una delle prime che ebbe a soffrire la dottrina d'Ampère, e ch'egli risolse nel corso delle sue ricerche in un modo assai soddisfacente. Le sue considerazioni sono però un poco complicate, e giova, io credo, spianare la difficoltà in una maniera più semplice, o si voglia dire più materiale, che persuada facilmente ogni ordine di lettori.

Si segni d'intorno alle calamite S N, S' N' (Fig. 66) quella porzione d'irraggiamento che risponde ai lati E*e*, O'*o*' de' quali si studia la reciproca influenza, e poi si supponga che tali raggi sieno effettivamente di limatura di ferro. I raggi del lato E e terminano in *s* con altrettanti poli *sud*; quello di O'*o*' terminano in *n* con altrettanti poli *nord*. Sono dunque quei raggi nel caso della fig. 63 e bisogna bene che vadano gli uni contro degli altri, e si dispongano fra le calamite in altrettante file parallele, o presso che tali, siccome dimostra il fatto accennato nella fig. 67. Ora che dicono quei raggi nel ricercarsi l'un l'altro? Dicono che come essi sono disposti per attrarsi, così pure le sono le braccia da cui partono, perchè se uno de' due cilindri, per esempio l'N'S', non fosse calamitato tenderebbe in faccia dell'altro NS, a calamitarsi nel medesimo senso in cui lo è: il che vuol dire che le correnti circolari di NS si combinano in massa, per la direzione, con quelle ch'esistono dentro di N'S': corrispondenza resa manife ta dall'interposta limatura che riceve lo stesso magnetismo, gli stessi giri di consenso da amendue le parti.

Rovesciamo ora una delle due calamite la N'S': Avremo allora la disposizione alla fig. 68 dove si vede che i raggi *Ss*,*S's'* sono in stato di ripulsione, perchè si presentano reciprocamente i loro poli *sud*. Ora replicheremo, che vuol dire quest'effetto, se non che le circolazioni, considerate nel loro complesso, sono nelle due calamite, opposte l'una all'altro, e perciò in istato d'effettiva ripulsione dal momento che tendono a calamitare in senso contrario la limatura che sta fra loro.

Siavi o non siavi questa limatura, poco importa: la legge di propagazione del magnetismo sussiste la medesima; ed è sempre permesso d'immaginarsi d'intorno alle calamite il suo *irraggiamento* per dedurre da questo qual genere d'azione, l'at-

trattivo od il ripulsivo, esse esercitino in un dato punto dello spazio.

La massima è generale: o le calamite tendono a scalamitarsi per avere le loro circolazioni, considerate in massa, contrarie l'una all'altra, ed allora si respingono, come ne avvertono i raggi di limatura che si calamitano sopra di esse in senso contrario; o le calamite tendono a rinforzarsi reciprocamente, perchè la massa delle loro correnti combina nella medesima direzione, ed allora si attraggono, come ne danno avviso i raggi di limatura frapposti che si calamitano sopra di esse nel medesimo senso.

Il calcolo arriva senza dubbio a questi medesimi risultati e vi arriva più precisamente. Ad ogni modo non è da disprezzarsi il metodo della limatura, il quale va anzi sviluppato maggiormente per gli utili servigi che può prestare all'atto pratico, e per le cognizioni positive che si deducono da esso in casi troppo complicati per isperare che l'analisi li risolva completamente.

Quale è per esempio il luogo preciso de' poli d'una calamita? Ne' cilindri elettro-dinamici, questi due punti si trovano all'estremità dell' asse del cilindro, e si verificano praticamente mettendo un picciolo ago magnetico *s' n'* (fig. 69) a galleggiare verticalmente sull'acqua, e poi osservando in qual posto si fermi sotto una speciale cilindrica S' N' collocatavi al disopra in posizione orizzontale. L' ago si ferma al disotto dell' ultima spira.

Sostituiamo alla spirale un cilindro calamitato SN, e l'ago si ferma in *ns* un pochino all'estremità N (1). È questa la posizione del polo della calamita; posizione suggerita immediatamente dall' irraggiamento magnetico, perchè determinata dai raggi *perpendicolari* N*n*, (fig. 62) di cui il galleggiante *s'n* (fig. 69) non è in sostanza che il prolungamento. Questa proprietà ci persuade d'una convenienza, ed è di distinguere i raggi *perpendicolari* N*n*, S*s* (fig. 62) con un nome più caratteristico con quello cioè di *polari*: denominazione che useremo d' ora innanzi a preferenza della prima.

Sinchè il cilindro calamitato non ha che fare con alcun altro corpo magnetico, i suoi due poli cadono evidentemente in *N*, *S* (fig. 62) punti d' intersezione dei raggi perpendicolari *nn*, *ss* coll' asse NS del cilindro. Ma che accade egli a questi poli, quando agiscono, per attrazione o per ripulsione, sopra altre

(1) Questa differenza nella posizione de' poli delle calamite e delle spirali elettro-dinamiche si può fare scomparire in più maniere; ma la più semplice si è di mutare la figura cilindrica delle spirali ordinarie in una *fusiforme*. Questi fusi sperimentati a modo della spirale cilindrica S'N' (fig.69) agiscono in guisa sul galleggiante *n's'* che questo si ferma, non più sotto l' ultima spira del sistema, ma al di dentro come fa sotto le calamite. (Vedi gli *apparati elettro-magnetici* descritti nel II° Volume).

calamite? Rimangono essi al loro posto, oppure s'avanzano o si ritirano a seconda de' casi? Anche questa è una questione interessante, ma complicata sotto il punto di vista geometrico. Ora come risolverla speditamente? Coll'irraggiamento magnetico. Si tratti per esempio della combinazione della fig 65, dove le braccia eteronome Ee, O'o' sono in presenza. È questo un caso d'attrazione, che si manifesta, come si disse, dal ricercarsi e rinforzarsi che fanno i raggi interni (fig. 67). Gli esterni s'indeboliscono invece, e cadono in parte del loro posto, come se i poli N, S si fossero allontanati da essi per avvicinarsi ai raggi di dentro. Tale è l'idea che suggerisce immediatamente l'irraggiamento magnetico; ma idea giusta, perchè la tendenza delle due braccia Ee, O'o' è di calamitarsi maggiormente al di dentro, e di scalamitarsi al di fuori, appunto come indicano gli effetti opposti della limatura, la quale s'arricchisce nel primo luogo e s'impoverisce nel secondo.

Avviene di spesso che il fisico dopo aver attaccata per divertimento una chiave al lato d'una calamita, la vegga cadere, non senza qualche sorpresa, all'atto in cui cerca d'attaccarne un altro pezzo di ferro dal lato opposto, e perchè ciò? Perchè la chiave è pur essa un sistema calamitato, che attraendo a se il polo della calamita lo scosta dal lato esterno dove esso non agisce più colla forza di prima. L'avvicinarsi del secondo pezzo di ferro richiama le forze al suo posto; la chiave non è più così attratta come prima, ed essa cade ogni qualvolta la forza colla quale era sostenuta, bastava appena per quest'effetto.

Sono noti i servigi che rendono all'algebrista le sue formole: or bene, l'irraggiamento magnetico è una specie di formola fisica che abbraccia tutti o quasi tutti i casi delle calamite, e serve ad interpretarli nelle varie circostanze.

III.

Sul conflitto elettro-magnetico

Una corrente elettrica passa accanto ad un ago magnetico. Che cosa accade egli in tale circostanza?

Molte sono le combinazioni che si possono fare coi due sistemi, l'elettrico ed il magnetico, e volendo analizzarle giova sicuramente prender le mosse dalla più semplice. Ma quale sarà questo caso meno complicato? Quello evidentemente d'una corrente rettilinea che passi perpendicolarmente al disopra dell'ago, il conflitto essendo allora ridotto fra un solo polo e la corrente. Nella prima esperienza d'Oersted d'un filo voltaico, che passa parallelamente al disopra d'un ago, la corrente è già in conflitto con amendue i poli, e questa disposizione non deve, a rigor di metodo, essere studiata che dopo la più semplice d'un solo po-

Digitized by Google

lo, la quale si converte per noi nel primo fatto, nel fatto fondamentale da cui dipendono tutti gli altri.

Fatto fondamentale.

Pongasi un ago magnetico N S (*Fig.* 70) a galleggiare verticalmente sull' acqua col polo *nord*, p. e., in alto; e preso fra le mani un filo di metallo, appartenente al circuito voltiano, si disponga per modo che passi orizzontalmente al disopra del polo N. Giova per la semplicità delle concezioni supporre un tal filo perpendicolare al piano della carta, e segnar quindi in R la sua projezion verticale, ed in *r z* la sua projezione orizzontale, la quale passerà per mezzo al cerchietto *n* projezione del polo superiore N. Le freccie *ab*, *cd* d'intorno a questo piccolo cerchio segnano il giro che il fluido magnetico fa dentro l'ago NS. Ciò posto, il fenomeno che si osserva in tale circostanza, si è che l'ago NS si toglie dal disotto del conduttore voltiano e si ritira alla sinistra in *n'* se la corrente va da *r* in *z*, oppure alla diritta in *n''* se la corrente viene da *z* verso *r*: verificandosi in ogni caso questo risultato, cioè che l' ago corre dal lato che gli conviene per avere i suoi circuiti *abcd* diretti nel senso della corrente che agisce sopra di esso.

La spiegazione poi di questa specie di rinculo si deduce facilmente delle leggi d'Ampère, sia che si voglia risalire alle due prime delle attrazioni e ripulsioni elettro-dinamiche, sia che più piaccia di servirsi dell' altra che le *correnti tendono a ridursi nella medesima riduzione*, la quale non è in sostanza che un corollario delle due prime.

E difatti ricorrendo alle prime, si vede subito ciò che deve accadere nel nostro caso. Vada per esempio la corrente da *r* in *z*; le correnti *c d* della calamita marciano in tal caso dalla medesima parte della corrente *rz*: tendono dunque, per attrazione ad avvicinarsi al filo *rz*, mentre le contrarie *ab* tendono, per ripulsione, a scostarsene. Le due tendenze cospirano al medesimo effetto, che è di toglier l'ago dal disotto del filo, e spingerlo alla sinistra in *n'*: posizione in cui si verifica il risultato che le correnti della calamita vanno per lo stesso verso della corrente voltaica. L'inversione poi di quest'ultima corrente produce patentemente il movimento contrario, il trasporto cioè dell'ago alla destra in *n''*, conformemente all' esperienza, e come conviene per confermare di nuovo il risultato della tendenza che l'ago ha di collocarsi dal lato dove le sue correnti vanno di conserva coll' altra del filo voltaico.

Non sarebbe forse difficile di giungere alla medesima conseguenza, partendo da principj puramente meccanici. Ma non è questo il luogo d' entrare in discussioni sistematiche. Ciò che preme di sapere si è, che l' ago fugge dal filo e fugge in guisa da

ridurre i suoi circuiti nella direzione della corrente del filo: il resto è del tutto indifferente per coordinare intorno a questo fatto fondamentale gli altri tutti del conflitto magnetico.

Si guernisca l'ago del suo irraggiamento e dinanzi ad uno di quei raggi si faccia passare una corrente elettrica. Che avverrà egli ad un tal raggio? Si piegherà da una parte secondo il principio or ora stabilito. Ma il raggio è infitto all'ago, e questo tende a seguire il movimento di quello. Si sopprima il raggio, ma non si sopprime per questo la tendenza dell'ago, la quale sussiste come prima perchè la risultante delle forze dell'ago è tale appunto, nel luogo che si considera, quale l'indica il raggio di limatura. Che accadrà dunque alle calamite traversate comunque dalle correnti elettriche? Accadrà loro ciò che indicano i raggi di limatura traversati dalla corrente. Che resta dunque da fare per rendersi conto de' vari casi del conflitto elettromagnetico? Seguirli ad uno ad uno colla doppia scorta del fatto fondamentale, e della formola fisica dell'irraggiamento magnetico. La deduzione sembra giusta, ma non basta; basterà unicamente quando sarà verificata nei singoli casi.

Conflitto perpendicolare.

Per non trascurare veruna circostanza di questo conflitto, si prenda le mosse dalla disposizione della figura 70, e mantenendo il filo *r z* sempre parallelo a se medesimo si faccia girare tutt'all'intorno dell'ago NS, in modo cioè che passi per tutti i punti della traccia punteggiata RR'R''R''' *rr'r''r'''*R (*Fig.* 71). Le vicende che si osservano durante tutto il giro sono registrate nei numeri susseguenti, ove si suppon sempre che la corrente elettrica traversi il piano della figura dal dinanzi al di dietro. Coll'altra direzione si hanno i fenomeni inversi: ciò sia detto una volta per sempre a risparmio di parole e di figure. Ma questo stesso motivo rende qui necessaria un'altra dichiarazione, ed è che invece di continuare a supporre verticale l'ago NS lo immagineremo orizzontale, perchè nella posizione d'appiombo l'ago non dà segno distinto che dei movimenti laterali, mentre nella positura orizzontale manifesta in un modo egualmente distinto i movimenti longitudinali, quelli cioè che s'eseguiscono nella direzione del suo asse. Per servirci dunque d'una sola figura nella descrizione delle vicende relative al conflitto perpendicolare avremo adesso in NS un ago che galleggia sull'acqua orizzontalmente, ed in R'R',R'',... le sezioni di un filo, che conduce una corrente elettrica dall'alto in basso. Ciò posto si segni sull'ago NS la posizione de' raggi polari *nn*, *ss*, e poi si osservi quanto segue:

1.° Che quando la corrente è in R od *r* dirimpetto all'estremità N, od S, l'ago si ritira a sinistra. Si tratta nell'uno

Digitized by Google

e nell'altro caso dello stesso giro *abcd (Fig. 70)* traversato dalla medesima corrente *rz*. La forza che produce questo movimento è indicata nella figura 72 dalle freccie R,*r* rivolte a sinistra e perpendicolari all'asse Rr: *rivolte a sinistra* perchè egli è da questa parte che la corrente elettrica caccia l'ago N S; *perpendicolari all'asse* R *r*, perchè l'ago non soffre dalla corrente situata in R, *r* veruna spinta e chiamata nel senso del proprio asse siccome è facile d'assicurarsi coll'impedire il movimento laterale. Tolta che sia infatti all'ago la libertà di moversi a sinistra esso conserva il suo posto, come se non avesse dinanzi a se la corrente elettrica.

2.° Che quando la corrente elettrica passa per uno dei quattro punti R', *r'*, R''', *r'''* (*Fig.* 71) corrispondenti ai raggi *polari nn*, *ss*, l'ago NS perde qualunque tendenza ai movimenti laterali. Non è in allora disposto che a moversi longitudinalmente, e questa disposizione è tale in R', *r'''* da dirigere l'ago verso la parte inferiore della figura; in R''', *r'* tale invece da dirigerlo verso la parte superiore. Queste direzioni sono marcate nella figura sussidiaria 72 colle freccie R', *r''*, R''' *r'* parallele tutte e quattro all'asse NS per l'evidente ragione che in queste quattro combinazioni l'ago non ha da obbedire a veruna forza che lo spinga a dritta od a sinistra.

3.° Che quando la corrente elettrica è in R'', *r''* (*Fig.* 71) dirimpetto all'equatore dell'ago, quest'ago si move nel solo senso laterale, e precisamente come se R'' fosse per lui un centro di ripulsione, ed *r''* un centro invece d'attrazione. La figura sussidiaria 72 provvede a queste due combinazioni, egualmente che all'altre presentando in R'', *r''* due freccie dirette secondo il verso dei movimenti indicati dall'esperienza.

Ora per poco che si fermi l'occhio sull'andamento delle freccie R,R',R'', . . . si vede qual relazione passi fra di loro, ed i raggi dell'irraggiamento magnetico: son esse precisamente perpendicolari a questi raggi, e rivolte secondo che esige il magnetismo di consenso esistente sui raggi medesimi. Ma, si chiederà forse, questa corrispondenza che è così patente d'intorno alle due estremità dell'ago N S, come si sostiene nel mezzo R'', *r''*? La *legge di continuità* basterebbe forse a persuadere che la cosa non può essere altrimenti; pure per maggior sicurezza risponderemo direttamente coll'osservare che sull'equatore dell'ago l'irraggiamento magnetico prende una direzione parallela all'asse N S, in grazia della tendenza che hanno i raggi boreali *n'*, *n''*, (*Fig.* 73) di congiungersi ai corrispondenti australi *s'*, *s''*, . . . S'inarcano gli uni verso degli altri; ed è sull'arco della loro congiunzione che cadono a perpendicolo le freccie equatoriali R'', *r''* (*Fig.* 72). L'inarcamento di cui si parla, non è un ripiego teorico, ma sibbene una circostanza di fatto ben conosciuta da qualunque dilettante di magnetismo e che si verifica ogni qual-

volta posta una verga calamitata sopra un foglio orizzontale di carta vi si sparge all'intorno della limatura di ferro, la quale si dispone intorno al corpo della verga in altrettante curve consimili a quelle che sono tracciate sulla parte destra della figura 73. I raggi n', n'', .. $s's''$ ... della parte sinistra non sono che i primi rami di quelle curve: rimangono dritti sinchè sono corti, ma prolungati che sieno coll'immaginazione, o con limatura di ferro sostenuta di tale maniera che obbedisca alla legge dell' irraggiamento magnetico senza distaccarsi dai primi punti d'appoggio, prolungati dico che siano que' raggi, si vede come sorga in essi la necessità di ricercarsi l'un l'altro, e di stabilire fra loro una comunicazione, la quale pel suo parallelismo coll'asse della calamita insegna al fisico che questo è un luogo di passaggio, dove le freccie, o forze R'', r'' non piegano nè dalla parte australe nè dalla boreale.

Dopo tutto questo qual sarà la soluzione da assegnarsi al problema del conflitto perpendicolare considerato in tutta la sua generalità? Si segni, noi diremo, il raggio per cui passa la corrente elettrica all'atto in cui comincia il conflitto, e su questo raggio si applichi ad angolo retto una freccia rivolta secondo che esige il fatto fondamentale. Tal freccia suggerisce colla sua direzione qual sia il primo passo, che tocca di fare all'ago. Nel farlo, l'ago impegna colla corrente un altro raggio. La costruzione fatta sul primo si ripete coll'immaginazione sul secondo, il quale segna all'ago tal via, qual conviene alla propria freccia, un po' più o un po'meno inclinata della prima secondo il luogo di partenza. Così si dica di tutti gli altri raggi magnetici, che vengono di mano in mano ad impegnarsi colla corrente elettrica: vale per tutti la stessa costruzione dal momento che si ripete sopra ciascuno di loro lo stesso conflitto.

53. Suppongasi, ex. gr., che il conflitto cominci in R', quando cioè la corrente elettrica si trova alla sinistra dell'ago N S, dirimpetto ad uno dei raggi polari n. In tal caso la freccia perpendicolare a questo raggio (fig. 74. n. I.) dice, 1.° che l'ago riceve una spinta che lo caccia direttamente verso di noi; 2.° che appena l'ago obbedisce a questa spinta, esso impegna sotto la corrente R' i raggi obbliqui n', n' che lo trasportano alla sinistra (n. II.) all'atto stesso in cui continuano a farlo avanzare dalla nostra parte; 3.° che a furia di guadagnare a sinistra giunge al segno d'avere esattamente dinanzi a se la corrente R' (n. III.) Giunto poi a questa posizione (che è la precisa dal fatto fondamentale), l'ago cessa dall'avanzarsi verso di noi; continua il suo movimento di fianco; impegna i raggi inclinati n'', n'', che lo riconducono verso R' facendolo, per dir tutto in una parola, girare dalla parte sinistra di R', come ha girato dalla parte destra (n. IV).

Questo movimento, come si vede, è di sua natura con-

tinuo, tale cioè; che l'ago dovrebbe, compiuto il giro di sinistra passare alla destra, e da questa tornare alla sinistra, e così via discorrendo. Nel compiere per altro il giro di sinistra, incontra il conduttore voltiano, che gl'impedisce di andare più oltre (n. V.).

Che se invece d'esser mobile l'ago, questo fosse fermo, e libero il filo, egli è chiaro che cosa farebbe quest'ultimo: girerebbe dalla parte contraria a quella del giro dell'ago. L'ago gira dalla parte delle *punte* delle freccie; il filo batte cammino contrario dirigendosi alla volta delle *penne* delle freccie medesime.

Fra i fisici che dietro le prime traccie di Oersted studiarono con successo questa classe di fenomeni meritano particolar menzione Faraday e Baccelli (1). Il primo per altro fece un passo di più; seppe vincere la difficoltà che si opponeva, nell'ordinario modo di esperimentare, al successo de' giri continui. Avremo a momenti occasione di parlare dell'ingegnoso apparecchio che egli immaginò a tal uopo; ma per ora dobbiamo passare dal conflitto perpendicolare al conflitto parallelo, e trascorrerne gli accidenti per così dire di volo. Una minore rapidità non servirebbe che ad annoiare i leggitori ai quali abbiamo già detto tutto nella proposizione, che *tutt'all'intorno delle calamite non si fa mai altro, che ripetere la stessa vicenda, quella cioè del fatto fondamentale riferito ai raggi dell'irraggiamento magnetico.*

Conflitto Parallelo.

Sia NS (fig.75) il solito ago calamitato orizzontalmente, galleggiante sull'acqua, ed *rz* la projezione d'un filo *r'z'* che passando parallelamente al di sopra dell'asse dell'ago conduca una corrente elettrica dal sud al nord siccome denotano le freccie *r'*, *z'* dello spaccato. In questo caso l'ago NS si volge all'ovest, e per modo (astrazion fatta dall'influenza del magnetismo terrestre) da prendere la posizione N'S' (fig. 76) perpendicolare al filo *rz*.

Per comprendere il meccanismo di questa voltata insiem colle circostanze che l'accompagnano, giova cominciare dall'immaginarsi la fila di raggi *s'*, *s'*, *s'*, *n'*, *n'*, *n'*, che sorgono dal lato più elevato dell'ago NS, e s'impegnano colla corrente *r' z'*, indi segnare intorno ai punti *n*, *s*, projezione de' raggi polari *n'n' s's'* i giri magnetici *abcd a'b'c'd'* che si compiono dentro di loro e poi riflettere a quanto segue:

1.° Che i raggi *abcd*, *a'b'c'd'* sono contrarj l'uno all'altro, e

(1) *I fenomeni elettro-magnetici a due leggi ridotti...* (Modena 1821) -- *Antologia* N. XVII.

mentre sotto l'azione della corrente *rz*, l'uno cioè l'*a'b'c'd* tende a rinculare all'est, in *e* (fig. 76) l'altro *abcd* tende a rinculare all'ovest, in *o*.

2.° Che questo è appunto il movimento che prendono le braccia CN, CS all'ago; movimento per altro, che se è subito indicato dai raggi polari *n'n'*, *s's'* dee attribuirsi a tutta quanta la fila de' raggi traversati dalla corrente *r'z'*. Metà di que' raggi è piantata sul braccio boreale CN metà sull'australe CS: nei primi si combina il giro *abcd* del raggio polare *n' n'*; nei secondi il giro *a' b' c' d'* del raggio polare *s's'*. Sono tutti que' giri traversati più o meno obbliquamente dalla corrente *r' z'*; e tutti per conseguenza concorrono, per quanto il comporta la rispettiva loro inclinazione, a sottrarre dal conflitto superiore il braccio da cui partono.

3.° Infine che per le braccia CN, CS non cessa il motivo di voltarsi sotto la corrente *rz* che quando hanno acquistata la posizione perpendicolare N'S' (fig. 76); perchè egli è solo in questa situazione, che la corrente *rz* traversa l'ago N'S' senza inciampare in verun de' raggi boreali ed australi. Le resta, è vero, da traversare ad angolo retto l'irraggiamento parallelo all'equatore; ma in tale passaggio noi già sappiamo qual sia l'influenza esercitata dalla corrente *rz*. È questo un caso di conflitto perpendicolare, e precisamente quello che ha luogo quando la corrente della figura 33 passa per *r''*. Una sola tendenza manifesta in allora l'ago NS, ed è quella di correre a dirittura al filo *r''*: effetto che non ha luogo nella disposizione della figura perchè l'impediscono e il peso dell'ago e la viscosità dell'acqua in cui è immerso.

Del resto sono così decise le forze che tendono a mantenere l'ago N'S' colle sue braccia giustamente divise dal filo *rz* che basta trasportare quel filo a dritta o a sinistra per veder subito correrví al di sotto l'equatore dell'agn. Voi già ravvisate nell'andamento delle freccie o forze *r'*, *r''*, *r'''* della figura il motivo di siffatte corse: non può l'ago NS fermarsi che sotto la forza centrale *r''*, la sola che nol tiri obbliquamente. Uno de' primi fisici ad accorgersi di questo equilibrio fu senza dubbio il Prof. Baccelli (1). Colgo con piacere questa nuova occasione per rendere giustizia all'esperienze di questo fisico, uno tra i pochi Italiani che si scossero al generoso impulso dato alla scienza del filosofo Danese.

(1) *I fenomeni elettro-magnetici ecc.* Modena 1821.

Digitized by Google

Giri continui di Faraday, Davy, ed Ampère.

I. Giro di Faraday.

Sia P*p* (fig. 77) un filo di metallo liberamente sospeso in P, e tale da poter girare, sopra una vaschetta di mercurio, intorno al polo d'un cilindro calamitato disposto verticalmente col proprio asse. S'introduca poi una corrente voltaica sul filo P*p*, e questo si mette a girar subito d'intorno al cilindro, da una parte o dall'altra, secondo la direzione della corrente. Nel caso della fig. 77 la corrente è *discendente* ed essa è in conflitto col polo *nord*, entro cui le correnti girano nel senso indicato dalle freccie *ab*, *cd*, come si vede nella projezione N'. Il giro del filo P*p* si fa, in questa combinazione, dall'altra parte, cioè secondo le freccie *p'*, *p''*, *p'''*.

S'immagini, per la spiegazione, una moltitudine di piccoli aghi calamitati disposti a cerchio, o vogliasi dire a stella (fig.78) con tutti i loro poli *nord* al di fuori, ed i poli *sud* al di dentro: indi si cerchi come si comporterebbe la corrente discendente P*p* (fig. 77) se invece di passare accanto del polo N del grosso cilindro calamitato NS, passasse dinanzi ad uno dei poli *n* de' piccoli aghi della stella, appunto come le accaderebbe, se questa stella facesse corona all'estremità N. Noi già sappiamo dalle particolarità riferite sul conto del conflitto perpendicolare, da qual lato tenda a fuggire un conduttore P*p*(fig.78)che passi dinanzi ad un giro magnetico *abcd*: tende a fuggire in *o* se la sua corrente viene di alto in basso, al contrario in *e* se la sua corrente marcia di basso in alto. Or bene il filo P*p* della fig. 77 si trova precisamente nel primo di questi due casi dinanzi al raggio della stella che abbiamo immaginata in N; sicchè a sapere come un tal filo si muova, basta condurre nella pianta F'K' un raggio qualunque N'*n* e poi trasportare su questo raggio la freccia del conflitto che è, nel caso di cui si tratta, la *c' d'* rispondente alla *c d* della fig. 78. Egli è secondo la direzione di questa freccia *c' d'* che il filo P*p* scapperà dal primo raggio della nostra stella: ma nel fuggire passerà dinanzi al raggio vicino, che rinnoverà su di lui lo stesso effetto. Sarà dunque costretto di girare intorno alla stella dalla parte *p'p''p'''*.

Voi già vedete, che questo è precisamente il giro che il filo P*p* fa d'intorno al polo N della calamita NS, e che la stella or ora immaginata a modo di corona d'intorno ad N non è che la grossolana immagine de' raggi polari che circondano questa stessa estremità. Non resta quindi che a perfezionare la rappresentanza col vedere la corrente P*p* in continuo conflitto, non meno con uno de'raggi polari, che con tutti ancora quegli altri rag-

gi, ch'essa traversa più o meno obbliquamente, e che tutti più o meno concorrono a farla girare dalla stessa parte $p'p''p'''$.

Quando poi s'inverte il corso della corrente s'inverte eziandio il giro del filo, cacciato dall'altra parte dai circuiti *abcd* (Fig. 78).

In questo esperimento si vede che mentre il filo mobile P*p* tende a scappare da una parte, i raggi magnetici *n*, *n*, e per conseguenza il cilindro NS, su cui sono infitti, tendono a fuggire dall'altra parte. È questo un giro che si verifica rendendo mobile la calamita, e mantenendo fisso il conduttore voltaico. (Vedi il volume II.)

II. *Vortici di Davy.*

Suppongasi d'avere sopra il polo N (Fig. 79) d'una calamita verticale NS, un piccolo cono di mercurio M, e che il vertice in questo cono sia in comunicazione col polo positivo d'una pila, e la base col negativo, talchè le correnti discendono sul mercurio del vertice alla base come indicano le freccie della figura. Così si stabilisce un conflitto consimile a quello che abbiamo immaginato poc'anzi: la differenza sta solo in questo, che nei giri di Faraday uno solo è il filo mobile, e qui lo sono tutti quelli che compongono il cono di mercurio. Poco poi importa che il caso di questo cono non sia realizzabile all'atto pratico. Già si sa che l'esperimento s'eseguisce ordinariamente rovesciando il sistema della fig. 79, col tenere la calamita al disopra, ed il mercurio al disotto; la spiegazione però del movimento vorticoso che si stabilisce in quest' ultimo, è in ogni caso la medesima.

III. *Giro d'Ampère.*

Questo fisico è stato il primo a far girare una calamità d'intorno al proprio asse. La condizione necessaria per realizzare questo movimento si è che una porzione della corrente passi attraverso le pareti della calamita. La dottrina dell'irraggiamento magnetico non s'avanza tant'oltre, e cessa in questo caso d'essere applicabile.

Molinello di Barlow.

Ne' giri sin qui esaminati abbiamo visto agire uno solo dei poli magnetici alla volta: ora vedremo nel grazioso esperimento di Barlow combinarsi l'azione d'amendue.

NOS (*Fig.* 80) è una calamita a ferro di cavallo, la quale poggia sopra una tavola orizzontale di legno LL' scavata alquanto nel mezzo per potervi versar dentro un po' di mercurio;

xyz è un arco conficcato in *x* sulla tavola, e congiunto in *z* da un rettangolo *fgh* entro cui gira una rotella dentata R. Tutte queste parti sono d'ottone, e combinate in modo che la rotella peschi, volendo, con uno de' suoi denti *r* nel mercurio che si versa nella vaschetta.

I fisici conoscon troppo bene quest' apparecchio, perch' io possa senz'altro passare ad occuparli del giro che la rotella R concepisce all' atto in cui entra nel circuito voltiano col mettere l'arco *xyz* in comunicazione con uno de' poli della pila, ed il mercurio della vaschetta coll'altro. Supponendo, che la corrente venga d'alto in basso e che il polo *nord* della calamita sia (rispetto a chi guarda la figura) al di là della rotella, ed il polo *sud* al di quà, la rotella gira da dritta a sinistra, dalla parte cioè *r* O. Voi ne vedete subito il motivo marcando al piede del raggio R *r* (*Fig.* 81) il giro *abcd* che si compie dentro i raggi magnetici *n*, *s*, attraversati dalla corrente che discende per R*r*. Questi raggi per la corrispondenza de' loro giri interni si ricercano l' un l' altro: costituiscono un raggio solo sempre in conflitto colle correnti che vengono per traversarlo, e sempre in modo da spingere alla sinistra *cdo* quelle che marciano come la R*r* d'alto in basso, ed alla dritta le altre che battono il cammino opposto di basso in alto.

Anello galleggiante di M. De La Rive.

Se si adatta alla parte inferiore di un galleggiante rotondo di sughero *gg'* (Fig. 82) un piccolo apparecchio voltiano composto d'una piastrina di zinco *zz'* circondata da un'altra di rame *rr'r''*, e se d'un filo di rame ricoperto di seta se ne faccia un anello *abc* col rotolarlo più volte sopra se medesimo, e se infine si saldi una delle due estremità d'un tal filo alla laminetta di zinco *zz'*, e l'altra alla laminetta di rame *rr'r''*, si ha in questo altrettanto semplice che utile sistema il galleggiante di De La Rive. I fisici già sanno come quest'anello, allorchè pesca in compagnia d'un altro nell'acqua acidula, manifesta le attrazioni e ripulsioni osservate dal sig. Ampère sui conduttori mobili, e come ingrandito che sia sino ad un certo segno, esso si disponga col proprio asse lungo il meridiano magnetico a guisa degli aghi ordinarj da bussola. Ma queste non sono propriamente le vicende, per cui si rammenta nel presente luogo l'anello di De La Rive: sono l'altre invece che si presentarono a questo fisico allorchè mise il proprio anello in conflitto con una verga calamitata NS. Vide egli fra gli altri accidenti, che quando l'anello *abc* era disposto per modo rispetto alla verga NS, da venire a coricarvisi sopra, guadagnava a poco a poco l'estremità più vicina N: la scavalcava; s'infilzava sulla verga, e retrocedendo veniva in fine a stabilirsi sul centro di essa. Tutto questo

Digitized by Google

movimento onora il fisico, che lo segnì in un tempo ove non era di certo così facile il prevederne tutte le circostanze. Ora per altro niuna difficoltà impedisce di trattare il problema in tutta la sua generalità, dicendo che la verga NS ha in questo caso i raggi del suo irraggiamento magnetico impegnati con tali correnti che montano dal lato *ab*, mentre discendono dal lato *ca*. Le prime obbediscono alla legge delle freccie, o forze r'', r', R,... della figura 72; le seconde alla legge inversa: queste forze hanno una risultante, e l'anello *abc* si move, o tende a moversi secondo la direzione di quella.

IV.

Influenza del magnetismo terrestre sopra i corpi magnetici.

Si sa che le sostanze ferruginee possono calamitarsi sotto la sola influenza del magnetismo terrestre. Ma perchè questa influenza sia efficace, è egli necessario (come si crede generalmente) che le verghe di ferro o d'acciajo siano sdrajate lungo la direzione sud-nord de' meridiani magnetici? Io aveva sino a questi ultimi tempi divisa cogli altri l'opinione d'una tale necessità; ma ora il fatto non meno che la più stretta analogia mi persuadono del contrario. Il *fatto*; perchè qualunque sia il pezzo di ferro o d'acciajo F (*Fig.* 83) ch'io esplori presso ad un ago calamitato S N galleggiante sull'acqua, trovo dai movimenti di quest'indice che il pezzo F è calamitato secondo il senso degli aghi d'inclinazione *s'n'*. Basta osservare la figura per vedere che giusta il senso di quel magnetismo, l'ago NS debbe fuggire da F; essere attratto da F'; respinto da F'', e nuovamente attratto da F'''. Tali in realtà sono i movimenti che si presentano all'osservatore. L'*analogia* poi parla così forte in questa circostanza, che sembrerà strano come non siasi ascoltata prima d'ora. E diffatti dal momento che la terra esercita dovunque le funzioni d'una grande calamita, bisogna bene aspettarsi che le sostanze ferruginee ricevano da essa quel magnetismo di consenso, che si riscontra sulla limatura di ferro convenientemente appressata alle nostre piccole calamite. So che si dirà che coll'allontanar la limatura dalle calamite, essa perde il magnetismo acquistato; ma a questa riflessione si risponde, che le masse di ferro e d'acciajo, grandi o piccole ch'esse si siano, non escono mai fuori della sfera d'attività del magnetismo terrestre, sicchè deggiono sempre calamitarsi secondo il grado di forza che risponde alla latitudine in cui si trovano.

Bisogna per altro confessare che questi gradi, quantunque ben distinti, pure esigono una certa precauzione per essere riconosciuti. Essa consiste nel tenere i pezzi di ferro (che si esplorano sull'ago NS) così distanti da quest'indice da agire col pro-

prio magnetismo, non già con quello che sarebbero per ricevere dall'ago stesso quando vi fossero maggiormente vicini.

Dopo quest'avvertenza si rende inutile ogni altro suggerimento. Tutt'al più potrà giovare il pensiero di stabilire, in via d'epilogo, le seguenti tre massime.

I. Le sostanze ferruginee sono sempre calamitate; perchè quando non hanno un magnetismo proprio acquistato comunque, danno ricetto a quello della terra.

II. Questo magnetismo comunicato dalla terra segue la legge degli aghi d'inclinazione. Alla nostra latitudine, ove gl'inclinatorj segnano 63 gradi all'incirca, le masse di ferro, di qualunque forma e mole si siano, trovansi *al dissotto* polarizzate pel *nord*, e al *dissopra* polarizzate pel *sud*. Tali polarità, suggerite a dirittura dalla direzione *s'n'* degl'inclinatorj, non si rovesciano al rovesciarsi delle masse F. Il polo nord domina costantemente alla parte inferiore *nnn*: il sud alla superiore *sss*. È questo il carattere distintivo del magnetismo naturale.

III. Nelle sperienze alquanto delicate, l'influenza del magnetismo della terra diventa così sensibile da confondere i risultati, se non le si presta la dovuta attenzione.

V.

Sull'azione chimica del magnetismo.

Facciamo passare attraverso l'acqua d'un vaso una corrente elettrica incanalata al solito sopra un filo congiuntivo. In tal caso l'acqua si riscalda, ma non si decompone. Si tronchi il filo in mezzo all'acqua: si separino un poco le parti tagliate, ed in allora l'acqua cessa dal riscaldarsi ed invece si decompone. Lo stesso avviene alle soluzioni saline, ed in generale ad ogni sorta di liquidi sottoposti all'azione delle correnti voltiane. Tutte queste sostanze si decompongono, ma soltanto allora che l'interruzione dell'arco metallico permette ad esse di far parte integrante del circuito. Tolta l'interruzione, l'elettricità se ne va tutta per la via del filo conduttore non lasciando d'intorno a se altro vestigio che quello del calore.

Niun dubbio adunque che per decomporre una certa sostanza colle correnti voltiane sia indispensabile la condizione ch'ella medesima entri nel circuito. Ora come condursi per soddisfare a questa condizione con una, o più calamite? La cosa è patentemente impossibile, s'egli è pur vero, come risulta da tutti i fatti, che esse tengano la loro virtù dall'elettricità che gira dentro le loro particelle rientrando esattamente in se medesima senza uscirne mai fuori.

Io era ben lontano dall'aver fissate queste idee quando mi vennero a notizia le sperienze magneto-chimiche di Murray (1).

(1) *Bibl. Univ.* Tom. XIX Janvier. 1822.

Ecco, io dissi in allora, nella ripristinazione de' metalli conseguita dal chimico Scozzese con un processo puramente magnetico, ecco in ciò una novella prova da aggiungersi alle tante altre che il fluido del magnetismo è sostanzialmente identico col fluido dell' elettricità. Ora per altro la penso assai diversamente: penso che se le esperienze di Murray fossero giuste, fornirebbero esse un argomento più contrario che favorevole all' identità dei due fluidi. Imperciocchè noi avremmo da un lato le calamite che agirebbero chimicamente, e dall'altro le spirali voltiane che non agirebbero chimicamente. Non bisogna mai dimenticare il luogo dove le correnti voltiane acquistano la proprietà di decomporre le combinazioni chimiche. Cade un tal luogo là dove il corso delle correnti è interrotto da conduttori di 2.· Classe come sono l'acqua, le soluzioni saline ec: interruzione, il replichiamo, che manca nelle spirali elettro-magnetiche egualmente che ne'circuiti delle calamite di lor natura perfettamente chiusi.

Dopo d'avere mostrato come la più stretta analogia conduce ad escludere il magnetismo dal novero degli agenti chimici, renderemo la ben dovuta giustizia al Marchese Ridolfi, il quale fu il primo che qui in Italia traesse dalle proprie osservazioni argomento per dubitare di quelle di Murray (1). Indi confessando ingenuamente d'aver prestato troppo sollecita fede all' azione chimica del magnetismo aggiungeremo che ora tutto ci move a collocarci dal lato dei fisici a cui non riuscirono le esperienze magneto-chimiche. Ci move la ragione; perchè sarebbe una singolarità ben poco verisimile che il magnetismo *ordinario* decomponesse le sostanze a fronte del magnetismo *elettrico* che non le decompone. Ci move il fatto; perchè il signor Merosi, Professore di Chimica, ed io abbiamo ultimamente eseguiti due esperimenti il cui risultato ci sembra decisivo. Il primo che può dirsi un esperimento nuovo, è questo.

Si è preparato del muriato d' argento (*cloruro d' argento*), ridotto in finissima polvere, seccato ben bene e disteso sopra due lastrine di vetro all'altezza di mezza linea incirca. Si sono in seguito collocate le due lastrine all'oscuro per sottrarle all'azion della luce, e disposte in modo che l'una delle due avesse sopra di se una barra d'acciaio non calamitata, e l'altra i due poli d'una buona calamita a ferro di cavallo. La distanza a cui si tenne il muriato d' argento dalle superficie de'pezzi superiori, fu la medesima in amendue le disposizioni, ed eguale alla grossezza di tre o quattro fogli di carta. Eseguito questo, si andò osservando di tempo in tempo la polvere delle due lastrine; ma non si rinvenne mai in veruna delle due la più piccola differenza. Si replicò più volte l'esperimento, ma il risultato fu

(1) *Antologia* di Firenze (N. XIX) (1822).

sempre lo stesso. La polvere si andava col tempo leggermente oscurando, ma tanto sotto la barra non calamitata, che sotto i poli della calamita; ed egualmente questi pezzi d'acciaio s'irrugginivano nelle estremità situate al di sopra del cloruro d'argento. Questa ruggine, dopo l'azione di tre o quattro giorni, era molto profonda e rossiccia quanto l'ocra. Tali circostanze ci persuasero ch'essa derivasse dal sale che lasciava scappar via una porzione di cloro. La semplice umidità non poteva cagionare un sì gran guasto nel breve periodo di pochi giorni.

A tutti è nota la facilità colla quale si altera il muriato di argento. Basta l'azione del raggio violetto per annerirlo in pochi minuti. Pure il magnetismo non manifestò sopra di lui veruna sorte d'influenza.

Per l'altra esperienza si sciolse mezz'oncia di nitrato neutro d'argento (1) in tre oncie d'acqua, le quali si divisero in quattro bicchierini, per averne due di riservi. Presi i primi due si tuffò contemporaneamente in ciascheduno di loro un pezzo d'acciaio non calamitato; ma uno di questi pezzi si mise a contatto d'uno dei due poli d'una buona calamita: l'altro si lasciò isolato. Così si ebbe il doppio vantaggio di garantire la calamita dall'azione del sale, e d'infondere sull'acciaio dell'esperimento un magnetismo superiore a quello di saturazione. Ad onta di ciò il pezzo calamitato non operò niente più del non calamitato. Per un'ora all'incirca le due soluzioni non diedero alcun segno manifesto di decomposizione: indi cominciarono a vedersi alcune pagliucce, attaccate qua e là senza ordine alcuno d'intorno ai due pezzi d'acciaio. Dopo sei ore si era già formata alla superficie del liquido, e d'intorno a ciascun pezzo una pellicola, in forma d'aureola, di argento ripristinato. Non si perde di vista il fenomeno per due giorni. La decomposizione continuò sempre, ma sempre in modo da non accorgersi di verun vantaggio dal lato del pezzo calamitato.

Ci rimaneva la soluzione dei due bicchierini di riserva. L'impiegammo anch'essa col sostituire ai due pezzi d'acciaio, due pezzi di ferro dolce tagliati dalla stessa barra, e grossi da quattro in cinque linee. L'uno si conservò allo stato naturale, l'altro si calamitò per consenso. Questa seconda prova eseguita sopra barre così grosse e così eguali sotto tutti i rapporti, confermò pienamente il risultato della prima. L'argento del sale si ripristinò egualmente d'intorno ai due pezzi di ferro immersi nella soluzione; nè una tale riduzione cominciò a farsi palese che dopo l'intervallo d'un'ora all'incirca.

» Allorchè s'immerse (dice Murray nella sua memoria sulla decomposizione de'sali metallici per mezzo della calamita (2))

(1) Conosciuto sotto il nome di *pietra infernale*.
(2) *Bibl. Univ.* Tom. XIX.

la barra magnetica nel nitrato d'argento, il polo nord si coprì *all'istante* di pagliuccole brillanti d'argento. » La circostanza d'una tale *istantaneità* non può a meno di recar meraviglia a noi che abbiamo dovuto aspettar così lungo tempo prima di vedere comparire le pagliuccole d'argento. Pure conoscendo quanto varii la condizione del tempo nelle faccende chimiche, riterremo più accidentale che altro il motivo d'una tale differenza. Ed in realtà se le circolazioni magnetiche possedessero in qualche modo la facoltà d'accelerare le decomposizioni chimiche, questa accelerazione sarebbe una prova che i prodotti chimici intercetterebbero una parte della propagazione del magnetismo. Ora può ben darsi che il magnetismo non si propaghi attraverso le sostanze con tutta quella libertà che gli si accorda comunemente, ma nemmeno per questo è da supporre che venga arrestato in guisa da scuotere sensibilmente l'architettura delle molecole integranti de' corpi. Del resto il campo delle esperienze è aperto a tutti, e noi sempre disposti a rettificare le nostre idee a norma delle verità di fatto che la scienza andrà proclamando.

Digitized by Google

ESPERIENZE DIVERSE

I.

Influenza de' corpi non magnetici sulla calamitazione.

Si prendano parecchi cannoncini eguali nel diametro e nella grossezza delle loro pareti, e fatti d'ogni sorta di sostanze, come sarebbe argento, zinco, legno, avorio, vetro ec. e poi si collochi nell'asse di ciascheduno di essi un ago da cucire non calamitato. Questi aghi hanno da esser tutti eguali. Disposti in seguito i tubetti accanto l'uno dell'altro come si vede nella fig. 84, si sottopongano tutti insieme all'azione d'una scarica elettrica, fatta passare al disopra di loro mediante un filo conduttore PN. Dopo la scarica gli aghi posti dentro i cannoncini si trovano tutti calamitati, ma ad un grado così diverso da potersi concludere con tutta la sicurezza ch'esiste a questo riguardo una scala di permeabilità non meno varia di quello ch'esiste rispetto alla luce ed al calorico (1).

II.

Inversione singolare di magnetismo.

Se dentro una vasca di mercurio si preparino due fili congiuntivi per modo ch'entrino nel bagno dalla parte inferiore ed arrivino presso che alla superficie, isolati nel loro contorno cilindrico, veggiamo il mercurio sollevarsi a cono sopra ciascuno de' due fili ogni qualvolta questi comunichino alle due estremità *zinco* e *rame* d'un apparato voltiano molto energico. È questa come ben sanno i fisici, un' osservazione che si deve al celebre Davy (2), e che si spiega direttamente col mezzo dell'esperienza registrata nel numero seguente.

Io credetti da principio che il fatto potesse ricevere un'interpretazione totalmente meccanica, per la quale sarebbe stato necessario che la più gran parte della corrente, appena sboccata sul mercurio dalla punta positiva, si ripiegasse sul fondo della vasca, e di qui risalisse poi alla punta negativa per produrvi di

(1) Quest'esperienza fu eseguita e pubblicata nel 1824 (*Questioni sul magnetismo*. Modena 1824). Essa è la prima del suo genere. Il Savary non istudiò l'influenza degl'*inviluppi non magnetici* che due anni dopo, nel 1826. (*Annales de Chimie et Physique* Tom. 31 pag. 5).

(2) (*Annales de Chimie et Physique* Cahier de janvier 1824).

rimbalzò quella medesima prominenza che nasceva immediatamente al luogo dello sbocco.

Di presente io non attribuisco a quest'idea alcun grado d'importanza, nè la ricordo che per riferire l'osservazione singolare a cui mi condusse, e che deve, io credo, esser conservata alla scienza.

Cominciai prima di tutto a ripetere l'esperimento di Davy coll'elettricità ordinaria, la quale serve in questo caso a maraviglia, perchè al momento in cui si scarica una piccola batteria attraverso i fili dell'apparecchio si vede guizzar via il mercurio dal luogo dove sorgono i coni di Davy. Quello spruzzo, o vogliasi dire piccolo getto risponde manifestamente al fenomeno delle due prominenze. È bensì vero che queste sono permanenti, e fuggitivo lo spruzzo; ma questa differenza nasce dal modo d'agire delle due elettricità, che è continuo nelle pile, istantaneo nella macchina ordinaria. Ciò per altro che si perde da un lato, si acquista dall'altro, essendo assai più grandioso il fenomeno dello spruzzo, che l'altro de' coni.

Cangiai in seguito la disposizione di Davy: di verticali ch'erano in questa, ridussi i due fili alla posizione orizzontale collocandoli sopra il fondo d'una scatola *abcd* (fig. 85) come si vede in P*p*, N*n*. Uno strato di mercurio li copriva poi tutti quanti, mentre s'inalzava, sopra la linea centrale *xy*, una fila d'aghi da cucire del tutto scalamitati. La scarica doveva calamitarli, ma come? Tutti in un senso se l'elettricità avesse battuto il cammino più breve P*pn*N. Il fatto invece provò che da *x* fino a un certo punto *y*, gli aghi erano polarizzati a un modo, e che da *y* in *z* avevano acquistato il magnetismo inverso.

È questo il primo caso d'un'inversione non suggerito dalle leggi ordinarie (1). Savary ne scoperse in seguito degli altri, che si trovano registrati e discussi nella sua bella memoria *sulla calamitazione* (2); ma le leggi di queste inversioni sono ancora ignote, nè si può assicurare se la prima mia osservazione si leghi o no alle posteriori del dotto francese. Certo è che il soggetto merita nuovo studio per parte d'un attento osservatore, che sappia trarne quel frutto che promette.

III.

Correnti che danno origine ai coni elettro-dinamici di Davy.

Si dispongano, sopra uno strato di mercurio ben puro e ben pulito, due fili di metallo bene affilati alle estremità, e diretti assai obbliquamente sul mercurio per modo che lo tocchi-

(1) *Antologia* di Firenze. Tom. 15 Agosto 1824.
(2) *Annales de Chimie et Physique* Tom. 34 Cahier de Janvier 1827.

Digitized by Google

no colle sole punte, stando dirimpetto l'uno all'altro alla distanza di 6 a 8 linee circa. Si faccia in seguito passare una corrente voltaica fra i due fili. Il suo effetto immediato è di formare sul mercurio due correnti contrarie che partono dalle punte e vengonsi incontro come se sboccassero dai due conduttori.

Si cangi ora questa disposizione in quella di Davy, nella quale la corrente elettrica sbocca nel mercurio dalle punte di due fili verticali. Il mercurio si solleva adesso sopra le punte a forma di cono; e perchè? In grazia delle correnti che la disposizione orizzontale mette in evidenza, e che si ottengono con forze molto discrete, mentre i coni di Davy esigono un potente apparato all'atto medesimo in cui coprono d'un certo velo l'origine da cui procedono. (Vedi gli apparati del II. Volume).

IV.

Influenza della forma de'conduttori sugli sbocchi dell'elettricità.

Si prenda un lungo filo di metallo ricoperto di seta, e si avvolga sopra il piano d'un cartoncino in modo da formarne una spirale piatta, consimile a quella degli orologi Si abbia unicamente cura che la spirale riesca ben compatta, col serrare l'uno contro l'altro, i vari giri che la compongono.

Niuno ignora la virtù magnetica di tutta questa serie di giri, quando si fa passar per essi, sia una corrente voltiana, sia l'elettricità delle nostre macchine ordinarie. Tutti sanno egualmente che quelle spirali si riscaldano notabilmente al centro, quando fanno parte di circuiti voltaici d'una certa attività. Ma ciò che non si sapeva ancora si è che le spirali di cui si parla, sviluppano una luce vivissima, ogni qualvolta passa per esse una scarica elettrica d'una forza discreta come sarebbe p. e. quella d'un quadro magico di due piedi d'armatura. La luce che si manifesta in tal caso, sbocca ora da una parte ora dall'altra, ma in generale più presso al centro che alla circonferenza.

Si prenda ora lo stesso filo od un altro uguale ad esso, e se ne faccia un rettangolo piegandolo a biscia, onde coprire la figura con altrettanti giri che vanno e vengono alternamente dall'una all'altra parte, così serrati fra loro come nel caso della spirale (1). Si replichi poi l'esperimento di questa sul rettangolo, e si troverà che mentre dalla spirale sbocca una fiamma così viva da abbarbagliare la vista, dal rettangolo si sviluppa invece una luce languidissima in forma di lampo che scappa via dai due orli dove il filo conduttore fa le sue voltate. Si coprano questi orli con uno strato di cera, e sparisce anche la fiacca luce del

(1) Vedi gli *apparati dell' astuccio elettro-magnetico* nel Vol. II.

lampo. Sotto l'azione della medesima scarica il contrasto de' due sistemi è allora al suo maggior grado: il rettangolo resta oscuro, e la spirale brilla della luce che sbocca in copia da qualche parte della sua superficie (1).

V.

Sopra la distribuzione del magnetismo nell'interno delle calamite.

Si sa che un cilindro elettro-dinamico gode delle note proprietà d'un ago magnetico, e che secondo le idee d'Ampère generalmente ricevute, un cilindro d'acciaio calamitato non è altro che l'unione d'un'infinità di siffatti cilindri ridotti in diametro, alle dimensioni delle particelle del metallo magnetico.

Secondo questo modo di vedere un cilindro massiccio calamitato dovrebb'essere quasi esattamente rappresentato da un fascio d'aghi d'acciaio sottilissimi, calamitati tutti per lo stesso verso ed egualmente lunghi per costituire un sistema della medesima forza del cilindro massiccio. Ma non è egli vero che gli aghi magnetici tenuti a contatto coi poli dello stesso nome, tendono a scalamitarsi reciprocamente, e che per conseguenza un fascio d'aghi composto come si è detto, dovrebbe ben presto trovarsi tutto o quasi del tutto scalamitato?

Per assicurarmi del fatto presi tempo fa (1824) una cinquantina d'aghi del n.° 12, e ne feci un mazzolino, colle punte rivolte dalla stessa parte, che calamitai in seguito sul polo d'una grossa calamita. Eseguita quest'operazione, disfeci il mazzolino per riconoscere il magnetismo de'singoli aghi: li trovai tutti calamitati gagliardamente nel medesimo senso, com'era da aspettarsi. Ricomposi il fascio, che legai ben bene, onde gli aghi rimanessero di forza al più deciso contatto. Lasciai passare un pajo d'ore, e poi slegato il mazzolino, osservai di nuovo il magnetismo degl'individui, ond'era composto. Ne trovai un buon numero che aveva acquistato il magnetismo inverso, che aveva cioè, secondo le nuove idee, invertito il corso delle proprie correnti. Replicai l'esperimento sopra un altro mazzo d'aghi; ma invece d'aprirlo dopo due ore, l'aprii più presto, dopo una trentina di minuti. Trovai il magnetismo, se non rovesciato in un certo numero d'aghi, che stava almeno per rovesciarsi, avendo già perduto tutto quello che possedevano dapprima.

Non pare che questi fatti abbiano bisogno di comento: essi dicono che gli aghi del mazzo non riescono, com'è ben natura-

(2) Quest' esperienza, pubblicata per la prima volta nella *Biblioteca universale*, fu immaginata ed eseguita coll'idea di ritrovare in essa qualche cosa d'analogo alle aurore boreali. (*Tom.* 25 *pag.* 38).

le, calamitati tutti allo stesso grado; che i più forti scalamitano prima i più deboli; e che poi infondono su questi il magnetismo inverso. Bisogna dunque credere che se gli aghi avessero da principio ricevuto tutti lo stesso grado di calamitazione, questa virtù si sarebbe ben presto estinta in tutto il sistema, come si era già presunto dalle cognizioni che si avevano su tale proposito.

Io non dubito punto della giustezza delle idee fondamentali d'Ampère, ma dubito bene ch'entro alle calamite il magnetismo sia distribuito come si suppone. A questo modo non potrebbe, io penso, nè conservarsi, nè concentrarsi, come si vede così distintamente, agli spigoli ed alle punte. Si sa in quale maniera si costruiscono le calamite a più barre: si fa in modo che la barra centrale sopravvanzi le laterali, le quali vi si dispongono sopra a scaglioni. Così non solamente si conserva il magnetismo sulla barra del centro, ma di più vi si rinforza al segno da sostenere pesi molto maggiori che in altra maniera.

Questa disposizione dell'arte, giusta egualmente in pratica che in teoria serve, io credo, ad indovinare quella della natura. Non è già che dentro una barra d'acciaio tutta massiccia si possano vedere materialmente quegli scaglioni che si formano ad arte sulle calamite ordinarie, ma si può bene col pensiero dividere l'interno d'una barra in altrettanti strati concentrici, e supporre che su questi strati il magnetismo vada rapidamente calando di forza dal di fuori al di dentro.

Noi vogliamo, nelle nostre calamite ordinarie, concentrare tutta la forza sulla barra di mezzo. Che faremmo noi, se volessimo concentrare quella medesima forza al di fuori? Invertiremmo l'ordine degli scaglioni: ritireremmo indietro la barra centrale, e spingeremmo innanzi le laterali. Così si fa passare la forza dall'interno all'esterno, e si costituisce un tipo di distribuzione di magnetismo analogo a quello che deve a parer mio supporsi dentro un pezzo calamitato qualunque, perchè conservi la propria virtù, e la concentri agli spigoli, come risulta dalle più ovvie osservazioni.

Resterebbe ora da vedere il motivo per cui il magnetismo si distribuisca in tal modo dentro le calamite: è questo un punto che si troverà discusso nel numero seguente.

(10 *Gennaio* 1834.)

VI.

Sopra la forza coercitiva.

Abbiamo nella scienza due specie di magnetismo ordinario, il permanente dell'acciajo temprato ed il fugace del ferro dolce. D'onde proviene questa differenza così marcata e così singolare?

Digitized by Google

Il chiamare *forza coercitiva* la resistenza che oppongono i metalli magnetici alla loro calamitazione e scalamitazione, ed il dire poi che una tal forza è grandissima nell'acciajo, e nulla o presso che nulla nel ferro, non è uno spiegare il fatto; è un esprimerlo in altra maniera, per cui la questione non avanza d'un passo: peggiora anzi di condizione, seppure è vero come mi sembra, che quell'idea di forza coercitiva tenda ad introdurre nella scienza un falso modo di vedere.

L'acciajo non temprato è presso che alla condizione del ferro dolce: disperde anch'esso quasi tutto il magnetismo, che riceve da altra parte. La tempra è dunque, non si può negare, la causa per cui l'acciajo acquista la proprietà di conservare il magnetismo. Ma se questo è vero, vero è altresì che le barre d'acciajo le più temprate non possono stare a reciproco contatto coi poli dello stesso nome senza pregiudicarsi più o meno nella forza del loro magnetismo. La tempra non è dunque la causa immediata della conservazione di quella virtù. E difatti noi abbiamo veduto nel numero precedente che la condizione conservatrice dipende dal modo con cui il magnetismo si distribuisce entro alle viscere del corpo magnetico. Dividiamo questo corpo ne' suoi fili elementari, e supponiamo che questi fili immensamente piccoli sieno tutti calamitati allo stesso grado. Abbiano pure la maggior tempra che si vuole, e tutto il sistema si scalamiterà ben presto come prova l'esperienza del mazzo d'aghi riferita poc'anzi. Supponiamo invece che gli elementi esteriori sieno calamitati più degli interni, ed avremo allora combinato un sistema capace di conservare una dose di magnetismo più o meno forte secondo le circostanze.

Ma come mai dentro la medesima massa le parti esteriori hanno da riuscire più calamitate delle interne? La tempra, non vi ha dubbio, distrugge l'omogeneità, ch'esisteva dapprima nelle varie parti della massa: le molecole esteriori raffreddate così bruscamente per le prime s'avvicinano più che non ponno fare le interne, obbligate dalla crosta esteriore già fatta consistente, a rimanere presso che a quelle distanze cui le ridusse il calore.

Non è quì da ricercare il motivo per cui l'acciajo temprato acquisti durezza, nè tampoco da discutere se sotto la tempra le particelle del metallo s'aggruppino in una maniera piuttosto che in un'altra: qui ci basta il sapere che l'acciajo temprato possiede una crosta per densità e fors'anche per altri accidenti, tanto più diversa dagli strati interni, quanto fu più rapido il raffreddamento.

Ecco dunque se non sciolta completamente la questione, portata almeno a buon punto. Il magnetismo si conserva nell'acciajo temprato, perchè vi si distribuisce dentro disugualmente, in maggior copia al di fuori, e via via sempre meno andando verso il centro; e così fatta distribuzione nasce di necessità dalla

tempra, che copre l'acciajo d'una crosta fisicamente diversa dalle parti centrali.

Coll' ajuto di questo principio s'intendono ora, mi pare, parecchi fatti, che rimanevano prima senza spiegazione.

Il ferro dolce disperde il magnetismo; ma battuto sotto il martello, o passato alla trafila acquista la proprietà di conservarne una piccola dose. I colpi di martello, e la trafila operano lo stesso effetto: rendono la superficie più compatta delle parti interne.

Se un filo di ferro, tirato alla semplice trafila conserva già un po' di magnetismo, lo stesso filo ne conserva poi una dose molto maggiore, torto che sia, come ne insegnò da gran tempo il celebre Gay-Lussac. Ora che fa la torsione, se non che accrescere la differenza di stato fra le parti esterne e le interne del filo? Massimo in fatti è lo stiramento lungo i lati esteriori, minimo lungo l'asse.

A tempra e qualità d'acciajo eguali, le barre sottili prendono, in proporzione, molto più magnetismo che non fanno le barre grosse. Sia pure eguale il riscaldamento delle barre, ed eguale la temperatura del bagno freddo destinato a temprarle. Ma che? La tempra non sarà eguale che di nome: in sostanza ne risulterà sulle barre sottili un'eterogeneità fra strato e strato maggiore di quella che accadrà entro le barre più grosse. La ragione è evidente. Tanto maggiore è l'eterogeneità degli strati, quanto più rapido è il raffreddamento; e questa rapidità cresce appunto colla sottigliezza.

Non è possibile di calamitar bene una grossa barra d'acciajo; e perchè se la barra può essere benissimo temprata in tutta la sua grossezza, e ricevere molto magnetismo da una copiosa sorgente? Non si mette in dubbio nè l'uno nè l'altro effeto che sono amendue egualmente sicuri, ma si risponde che l'impossibilità di calamitar bene que' grossi pezzi, dipende dallo stato delle parti centrali, che sono bensì temprate, ma lo sono troppo egualmente per non perder subito tutto o quasi tutto il magnetismo, che ricevono da altra parte.

Il magnetismo s'aumenta più assai col grado della tempra, che colla massa del corpo magnetico. Ecco un'esperienza fatta a bella posta per dare a questo punto tutto il risalto che gli compete.

Colla medesima qualità d'acciajo ho fatto costruire due cilindri d'eguale lunghezza e di egual diametro, ma l'uno massiccio e l'altro forato in mezzo da una parte all'altra. Il peso del primo era di 28. ½ gramme; quello del secondo di 16. I due cilindri furono temprati allo stesso modo, e calamitati in seguito a saturazione. Collocati l'uno dopo l'altro alla medesima distanza da un ago da bussola, osservai su questo le due seguenti deviazioni;

Per il cilindro massiccio. . . . . 9.° ½
Per il forato. . . . . 19.

La differenza è, come si vede, enorme. Il cilindro massiccio ha quasi doppia massa del forato, e ciò non ostante il suo magnetismo arriva appena alla metà dell' altro.

Si avrebbe creduto tutt' altro; ma se coll'idee ordinarie non era da aspettarsi un tale risultato, la cosa ora diviene molto semplice riflettendo alla condizione del cilindro forato, il quale temprandosi contemporaneamente al di fuori come al di dentro, si veste dalle due parti di quella crosta che diviene la conservatrice del magnetismo, nel momento che ne può ricevere una maggior dose che non tocca alle parti interne.

Queste osservazioni accrescon forza all' idea principale relativa alla distinzione delle due specie di magnetismo. Il magnetismo, diciam noi, tende a distruggersi nel ferro il più dolce, come nell' acciajo il più temprato: che se si conserva in quest' ultima sostanza e non nella prima, ciò dipende da una circostanza accidentale, come si è quella di far perdere all' acciajo la sua omogeneità, col mezzo d' un' operazione, la *tempra*, la quale non altera che punto o poco la struttura interna dal ferro.

Bisogna del resto convenire, che regna ancora tal bujo entro alle viscere delle calamite da dovere essere cauti nelle opinioni che s' avanzano sopra questo proposito. Egli è con tale riserva che intendo di presentare la mia.

Li 14 Gennajo 1834.

Fine del primo Volume

Digitized by Google

INDICE

DELLE MATERIE

Descrizione d'un nuovo Galvanometro . . . . . Pag. 1
Nota al medesimo . . . . . « 4
Esperienze elettro-fisiologiche . . . . . « 7
Nota sulla circolazione della Chara . . . . . « 13
Sul Magnetismo del rame e di altre sostanze (Nobili e Baccelli). . . . . « 15
Sopra una nuova classe di fenomeni elettro-chimici. « 18
Nuove esperienze elettro-chimiche . . . . . « 25
Sopra le apparenze ed i movimenti elettro-chimici del mercurio . . . . . « 37
Sulle apparenze elettriche di Priestley . . . . . « 50
Nota alle medesime. . . . . . « 52
Nuove osservazioni sopra le apparenze elettro-chimiche, le leggi elettro-dinamiche, ed il meccanismo interno della pila . . . . . « 56
Confronto dei due Galvanometri più sensibili, la Rana ed il Moltiplicatore a due aghi, con alcuni risultati in fine . . . . . « 67
Modo di ottenere le correnti termo-idro-elettriche. « 81
Sulla natura delle correnti elettriche . . . . . « 83
Nota alla suddetta memoria . . . . . « 99
Sul magnetismo de' fili de' Galvanometri . . . . « 102
Sulla misura delle correnti elettriche, o progetto d' un Galvanometro comparabile . . . . . « 105
Sulle pile a forza costante — Nota alla memoria precedente . . . . . « 134
Analisi sperimentale e teorica degli effetti elettro-fisiologici della rana con un'appendice intorno alla natura del tetano e della paralisi, ed al modo di curare queste due malattie coll' elettricità. . . . . . « 135
Termo-moltiplicatore . . . . . « 157
Nota relativa ad alcuni perfezionamenti fatti al suddetto istromento. . . . . . « 160
Scala cromatica. . . . . . « 163
Sopra la polarizzazione de' colori — Appendice . « 189
Recherches sur plusieurs phénoménes calorifiques en-

treprises au moyen du Termo-moltiplicateur (Nobili e Mello) . . . . . « 19
Sopra la forza elettro motrice del magnetismo (Nobili e Antinori) . . . . . « 20
Descrizione delle nuove calamite ed osservazioni sulle medesime (Nobili e Antinori) . . . . . « 2
Nuovo condensatore elettro-dinamico . . . . . « 2
Sulla sensibilità del Termo-moltiplicatore . . . . « 2
Sopra varj punti di magneto-elettricismo (Nobili e Antinori) . . . . . « 2
Teoria fisica delle induzioni elettro-dinamiche . . « 2
Sull' azion chimica delle correnti magneto-elettriche (Nobili e Antinori) . . . . . « 2

ARTICOLI SUL MAGNETISMO

I. *Sul modo con cui si diffonde il magnetismo intorno alle calamite* . . . . . «
II. *Sull' azione reciproca delle calamite* . . . . . «
III. *Sul conflitto elettro-magnetico* . . . . . «
IV. *Influenza del magnetismo terrestre sopra i corpi non magnetici* . . . . . «
V. *Sull' azione chimica del magnetismo* . . . . . «

ESPERIENZE DIVERSE

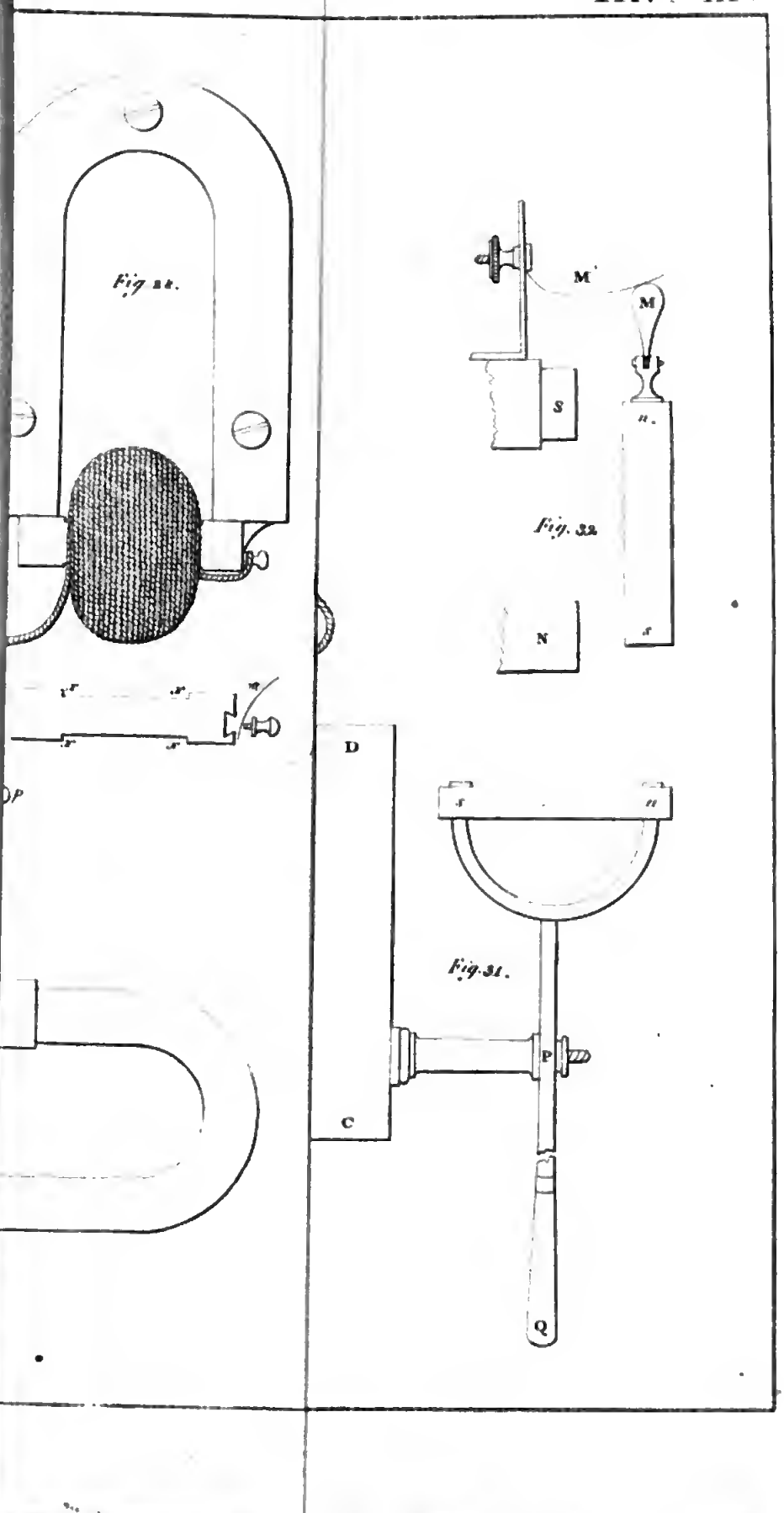
I. *Influenza de' corpi non magnetici sulla calamitazione* . . . . . «
II. *Inversione singolare di magnetismo* . . . . . «
III. *Correnti che danno origine ai coni elettro-dinamici di Davy* . . . . . «
IV. *Influenza della forma de' conduttori sugli sbocchi dell' elettricità* . . . . . «
V. *Sopra la distribuzione del magnetismo nell' interno delle calamite* . . . . . «
VI. *Sopra la forza coercitiva* . . . . . «

5682138

Digitized by Google

Digitized by Google

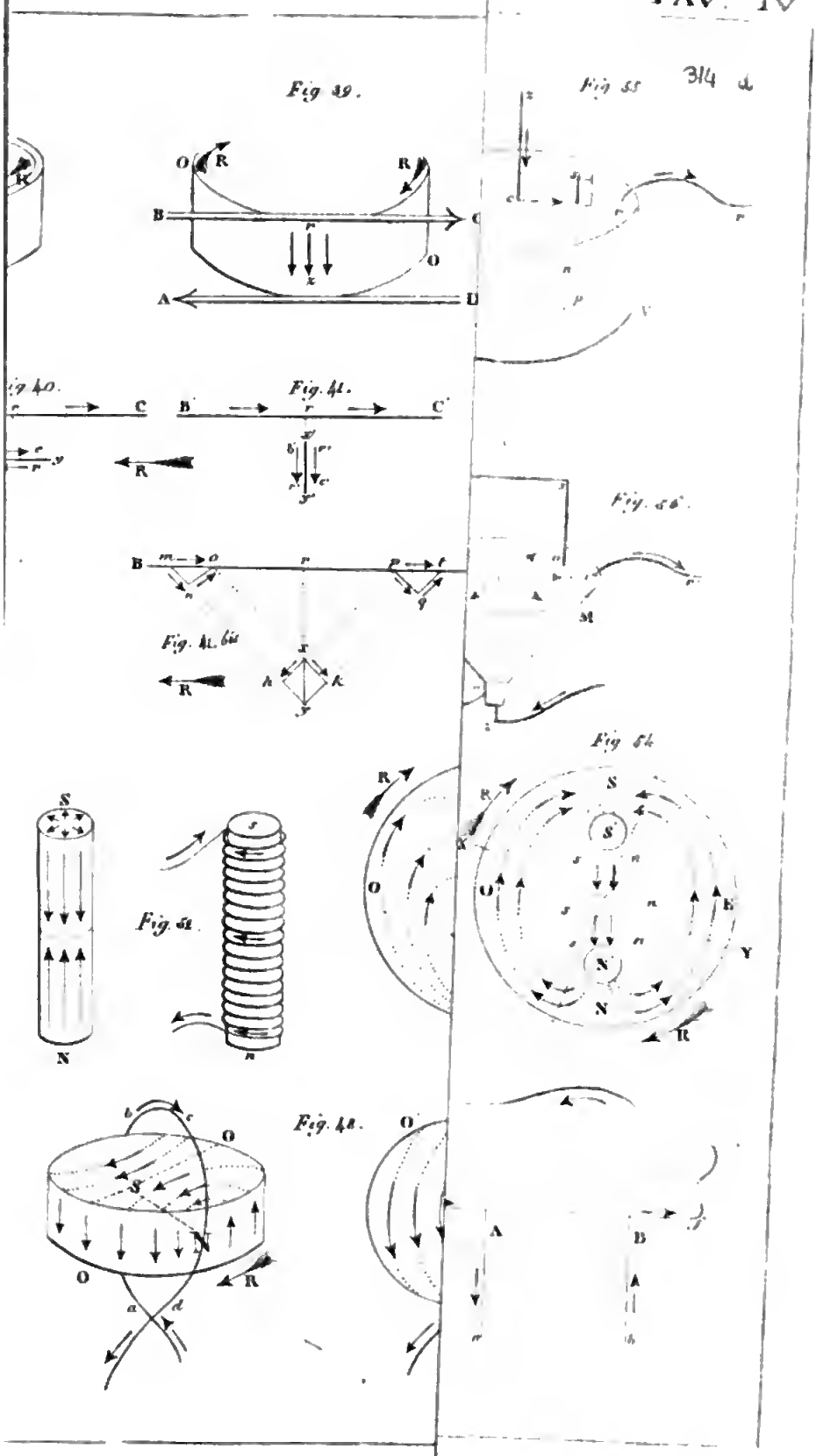
Digitized by Google



Digitized by Google

Digitized by Google

TAV. IV



Digitized by Google

Digitized by Google